BnF Gallica

Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en [...]

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

{BnF Gallica

Union technique de l'électricité (France). Auteur du texte. Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en chef Alfred Soulier. 1930-01-04.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :
- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

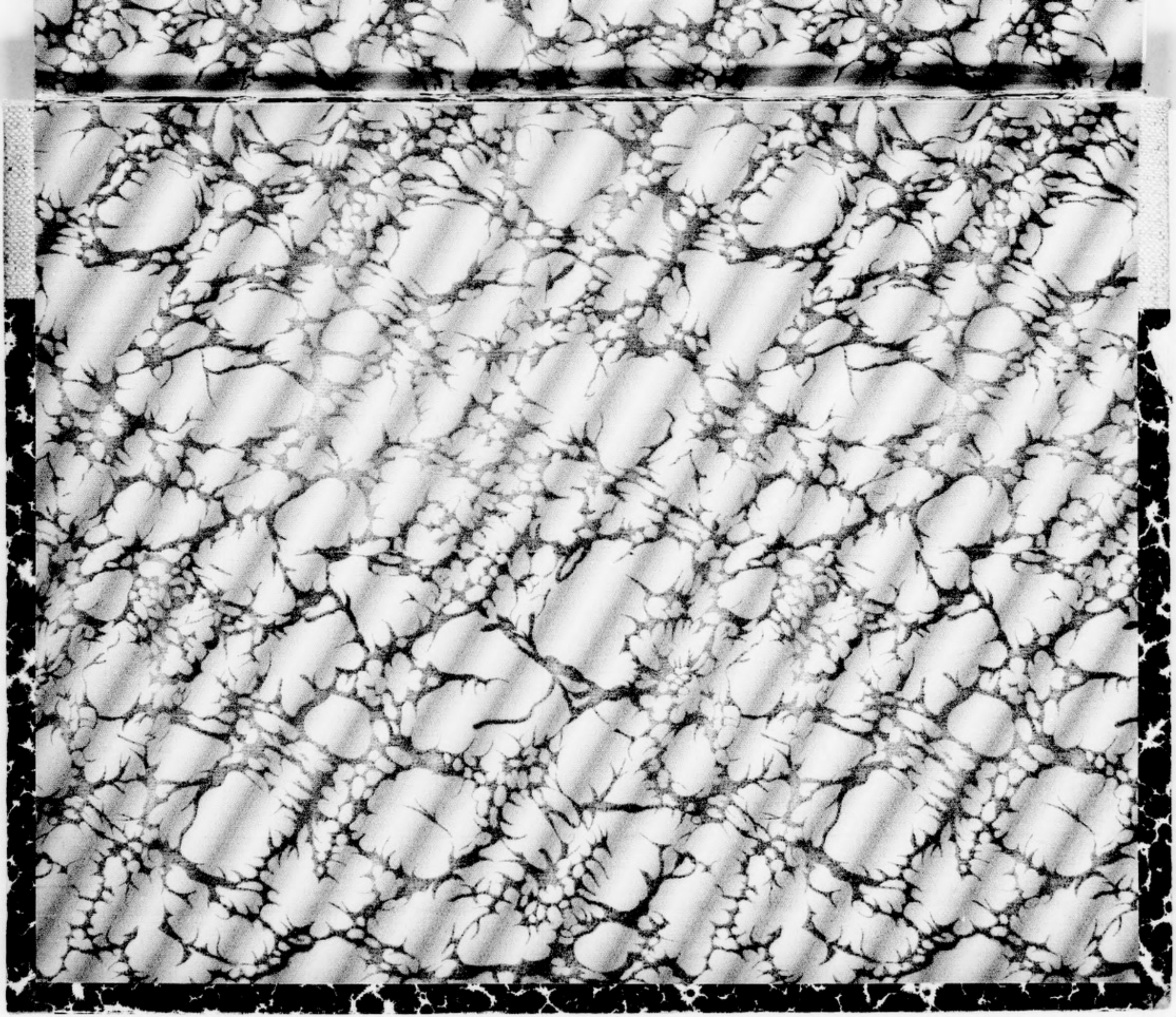
4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
utilisation.commerciale@bnf.fr.

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



14e Ar

R

CHRON

SECTI

SECT

Téléc

14e Année. Tome XXVII. — N° 1. 4 Janvier 1930.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ELECTRICITÉ
ET DU COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE FRANÇAIS

MINISTÈRE DU TRAVAIL DÉPÔT LÉGAL

SOMMAIRE

CHRONIQUE. — Commission électrotechnique internationale : Réunion du Comité de l'Aluminium, p. 1. — A propos de la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension, p. 2. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique d'un projet de normalisation, p. 2. — Bibliographie : La nouvelle mécanique des quanta, par George Birtwistle, traduit par M. Ponte et Y. Rocard, préface de J. Hadamard, p. 3; Histoire de l'enseignement de la Chimie en France, par René Sordes, p. 4; Einführung in die Komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif), par Ludwig Casper, p. 4.

SECTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE. — Surtensions dans les transformateurs : Propagation des ondes de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire, par J. Fallou, p. 5. — Revues, analyses et informations : Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné, p. 10; La qualité du synchronisme dans l'appareil Baudot et ses conséquences au point de vue de la vitesse de transmission, p. 12; La production et les emplois du béryllium, p. 14.

SECTION INDUSTRIELLE. — Un nouveau moteur asynchrone compensé, par H. de Pistoye, p. 15. — Revues, analyses et informations : Le réglage des postes récepteurs de T. S. F. par l'emploi des dispositifs de repérage nominal « Valundia », p. 26; Pression développée par la fusion de fusibles ou l'établissement d'arcs, en vase clos, p. 28; Intensité de courant admissible dans les barres générales, p. 29; La commande des circuits d'éclairage public avec lampes montées en parallèle, p. 31; Les véhicules électriques à accumulateurs; les camions de la Société des Véhicules électriques industriels, p. 31.

SECTION ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE. — Le développement de l'orientation professionnelle, par G.-E. Bertin, p. 33. — Assemblées générales : Electricité et Gaz du Nord, p. 35.

SECTION DE LÉGISLATION. — Sur les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire (Arrêt du Conseil d'Etat du 5 juillet 1929), par A. Remaury, p. 37. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'application de la législation sur les assurances sociales, p. 38; Sur l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'une société anonyme ayant des succursales à l'étranger, p. 39; Sur l'application de la taxe de transmission aux actions d'apport nominatives, p. 39; Sur l'assujettissement à la vérification des poids et mesures, p. 40; Sur les droits d'expropriation que confère aux compagnies ferroviaires la concession d'usines ou de lignes électriques, p. 40; Sur la déclaration des bénéfices que doit faire une société lors de sa dissolution, p. 40; Sur la négociabilité des actions d'apport d'une société à responsabilité limitée qui se transforme en société anonyme, p. 40.

BULLETIN R. G. E. — Nouvelles et échos. — Informations. — Sociétés industrielles. — Notices et catalogues. — Brevets récents. — Réunions, conférences, etc. — Index économique, p. 1 B-8 B.

DOCUMENTATION ..... p. 1 D-8D

PETITES ANNONCES ..... p. LXXV-LXXVII

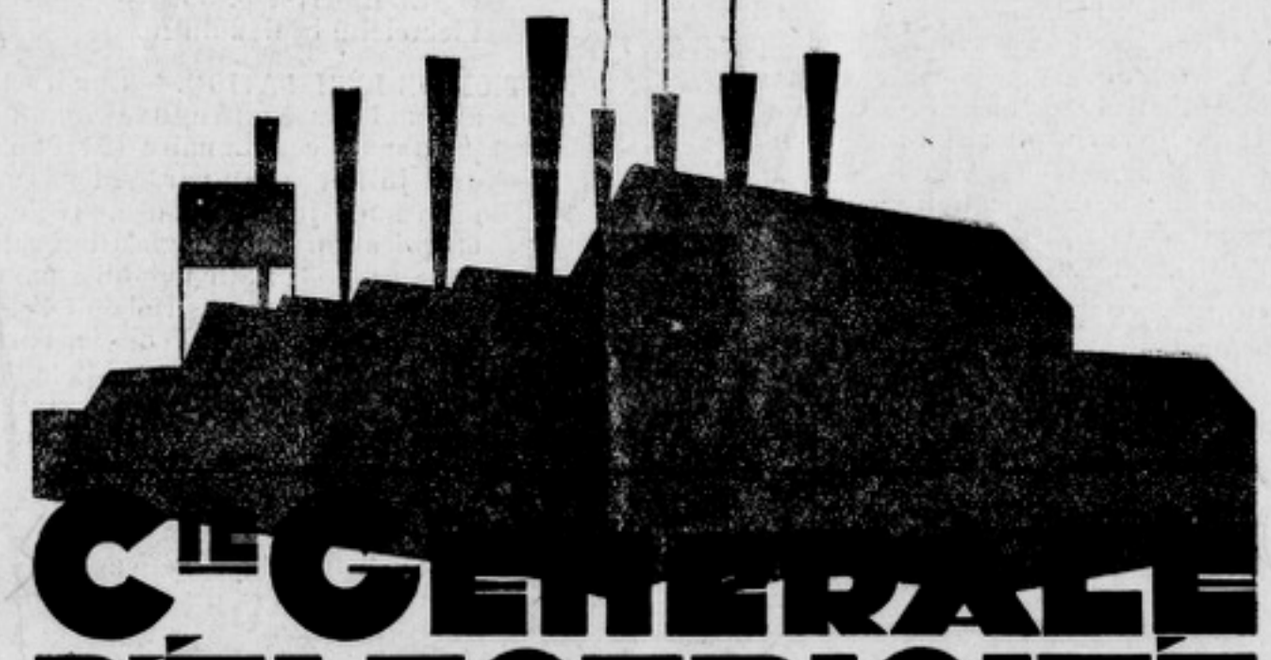
RÉDACTION & ADMINISTRATION : 12, Place de Laborde, PARIS (VIIIe).

Téléph. : Laborde 23-38 — Compte de chèques postaux : Paris 239-86 — Registre du Commerce : Seine N° 181 784

REVUE HEBDOMADAIRE

Prix des Abonnements { **France et Colonies : un an, 100 fr; six mois, 55 fr.** / **Etranger : un an, 10 dollars ou 12 dollars** suivant conditions postales || **Prix du Numéro : 5 fr.**

TOUT LE MATÉRIEL
ÉLECTRIQUE DE LA
CENTRALE A LA
LAMPE



C^IE GÉNÉRALE
D'ÉLECTRICITÉ

Sté. ANyme AU CAPITAL DE 130 MILLIONS DE Frs. 54, Rue La Boëtie, PARIS (VIIIe)
Téléph.: Élysées 48.01 à 06 · SUCCURSALES à : ALGER, BORDEAUX, CLERMONT-FERRAND, DIJON, LILLE, LYON, MARSEILLE, METZ, NANCY, NANTES, NICE, ORAN, REIMS, ROUEN, St-ÉTIENNE, STRASBOURG, TOULOUSE, TOURS. · NOMBREUX REPRÉSENTANTS ET AGENCES A L'ÉTRANGER.

REVUE GÉNÉRALE
DE
L'ÉLECTRICITÉ

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ
ET DU COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE FRANÇAIS

DIRECTEUR

J. BLONDIN, AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

RÉDACTEUR EN CHEF

Ad. CURCHOD, DIPLÔMÉ DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

TOME XXVII

4 Janvier 1930 — 28 Juin 1930

PARIS

AUX BUREAUX DE LA REVUE

12, PLACE DE LABORDE (8e ARRT)

—

1930

CONSEIL D'ADMINISTRATION

PRÉSIDENT HONORAIRE

Cordier Gabriel. — Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Président d'honneur de l'Union des Industries métallurgiques et minières.

PRÉSIDENT

Legouez Raynald. — Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité. — Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Ancien Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris.

VICE-PRÉSIDENTS

Meyer Ferdinand. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Conseil d'Administration de la Compagnie continentale Edison.

Meyer Marcel. — Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Directeur de la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force (Anciens Etablissements Clémançon).

ADMINISTRATEURS

Brylinski Emile. — Président d'honneur et Délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Comité électrotechnique français.

Cahen Henri. — Président de l'Union des Syndicats de l'Electricité. — Vice-Président du Sud-Electrique.

Cordier Ernest. — Administrateur délégué de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen.

Cruchon Louis. — Directeur général de la Compagnie générale d'Électricité.

Duval Charles. — Président du Syndicat des Entrepreneurs de Réseaux et de Centrales électriques. — Directeur des Services électriques de la Société générale d'Entreprises.

Eschwège Paul. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué de la Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité à Paris.

Fontaine Eugène. — Trésorier du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Girardeau Emile. — Administrateur délégué de la Compagnie générale de Télégraphie sans fil.

Hecker Robert. — Administrateur délégué de la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston.

Mazen Natalis. — Sous-Directeur honoraire des Chemins de fer de l'Etat. — Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

Paré Marcel. — Directeur général adjoint de la Société saint-quentinoise d'Eclairage, de Chauffage et de Force motrice. — Administrateur de la Compagnie continentale pour la Fabrication des Compteurs.

Petit Joseph. — Président de l'Omnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways. — Vice-président de la Compagnie du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris.

Rey Jean. — Membre de l'Institut. — Président d'honneur du Syndicat général de la Construction électrique. — Administrateur directeur des anciens Etablissements Sautter, Harlé et Compagnie.

Saurel Maurice. — Docteur en droit. — Président du Syndicat des Fabricants français de Lampes électriques. — Administrateur délégué de la Compagnie des Lampes.

Ticier Armand. — Administrateur délégué des Etablissements Devilaine et Rougé.

Ulrich Marcel. — Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué de la Société d'Électricité de Paris.

SECRÉTAIRE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Blondin Maurice — Licencié ès-sciences Ingénieur E. S. E.

COMMISSAIRES AUX COMPTES

Cope Pierre. — Chef de comptabilité. **Marty Georges. — Docteur en droit.**

DIRECTEUR

Blondin Joseph. — Agrégé de l'Université.

COMITÉ DE RÉDACTION

PRÉSIDENT

Blondel, André, Membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées

VICE-PRÉSIDENTS

Boucherot, Paul, Président de l'Union des Syndicats d'Ingénieurs français.

Brylinski, E., Président d'honneur et Délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, Président du Comité électrotechnique français

Janet, Paul, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'Ecole supérieure d'Electricité.

SECTION SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE

d'Arsonval, A., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

Brillouin, M., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

Fabry, Ch., Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Examinateur à l'Ecole polytechnique.

Ferrié, Général G., Membre de l'Institut, Commandant supérieur des Troupes et Services de Transmission.

Guillaume, Ch.-Ed., Membre correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau central des Poids et Mesures.

Barbillion, L.-C., Professeur à l'Université de Grenoble.

Becker, J., Licencié ès sciences.

Bethenod, J., Ingénieur en chef de la Société française Radio-Electrique.

Bion, Capitaine de frégate, chef du Service des recherches scientifiques à l'Etat-Major général de la Marine.

Camichel, C., Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Chaumat, H., Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Sous-Directeur honoraire de l'Ecole supérieure d'Electricité.

Ferrier, R., Ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées.

Féry, Ch., Docteur ès sciences, Professeur honoraire de l'Ecole de Physique et de Chimie.

Genkin, V., Ingénieur-conseil.

Girault, P. Ingénieur à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom).

Guilbert, C.-F., Ingénieur électricien, Professeur adjoint au Conservatoire national des Arts et Métiers, Arbitre rapporteur près le Tribunal de Commerce de la Seine, Sous-Directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité.

Guillebot de Nerville, Ingénieur en chef des Télégraphes, Professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.

Gutton, C., Professeur à l'Université de Nancy.

Jouaust, R., Sous-directeur du Laboratoire central d'Electricité.

Jouguet, Inspecteur général des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines.

Lamotte, M., Professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Langevin, P., Professeur au Collège de France.

Latour, Marius, Ingénieur-conseil.

Léauté, André, Répétiteur de Physique à l'Ecole polytechnique, Administrateur délégué de la Société de Recherches et de Perfectionnements industriels.

Leblanc, Maurice, Ancien élève de l'Ecole normale supérieure, agrégé de l'Université.

Liénard, A., Directeur de l'Ecole supérieure des Mines.

Maudult, A., Professeur d'Electrotechnique à la Faculté des Sciences de Nancy.

de Pistoye, H., Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité, Ingénieur-conseil.

Pomey, J.-B., Inspecteur général des Postes et Télégraphes en retraite.

Rigollot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'Ecole centrale lyonnaise.

Swyngedauw, R.-A., Professeur à l'Université de Lille, Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

Turpain, A., Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Weiss, P., Professeur à l'Université de Strasbourg.

SECTION INDUSTRIELLE, ÉCONOMIQUE et FINANCIÈRE

Liesse, André, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Rey, J., Membre de l'Institut, Administrateur directeur des anciens Etablissements Sautter, Harlé et Compagnie.

Auvert, Ingénieur principal honoraire du matériel de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (installations électriques).

Bachellery, A., Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

Brenot, P., Ancien Chef du Centre radiotélégraphique de Paris et du Service de la Radiotélégraphie au Ministère des Colonies, Directeur technique de la Société française Radio-Electrique.

Buffet, J., Président de la Société nancéenne de Crédit industriel et de Dépôts.

Bunet, P., Ingénieur-conseil.

Charpenay, Banquier, Membre de la Chambre de Commerce de Grenoble, Administrateur délégué de la Société des Forces motrices du Haut-Grésivaudan.

Caudrelier, F., Ingénieur des Ponts et Chaussées. Ingénieur en chef des Services électriques de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

Cordier, F., Colonel d'Artillerie

Cordier, Fernand, Ingénieur en chef aux Etablissements Schneider et Cie.

Courtois, Gabriel, Ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

Drouin, F., Directeur des Services techniques de la Compagnie générale d'Electricité.

Eydoux, D., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, Directeur des Etudes à l'Ecole polytechnique.

Eyrolles, L., Ingénieur, Directeur de l'Ecole spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie.

Flusin, Professeur d'Electrochimie et d'Electrométallurgie à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Girod, Paul, Administrateur délégué des Etablissements Paul Girod, à Ugine.

Gratzmuller, L., Ingénieur-conseil.

Guyon, Directeur de la Compagnie des Tramways de Lyon.

Hugoniot, Ingénieur-conseil.

Imbs, Président de la Société française des Electriciens, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Administrateur à la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricté.

Jumau, Directeur technique à l'Accumulateur Tudor.

Juppont, Ingénieur-conseil.

Labrousse, P., Ingénieur-conseil.

Laurain, H., Président de la Société d'Electricité de Reims et de la Société des Tramways électriques de Reims, Directeur des Services techniques de la Société du Gaz de Paris, Membre du Conseil de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Lauriol, P., Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées; Ancien ingénieur en chef des Services généraux d'Eclairage de la Ville de Paris.

Legouez, R., Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité; Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques; ancien Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris.

Lelong, Ingénieur en chef du Génie maritime, Ministère de la Marine.

Loppé, F., Ingénieur des Arts et Manufactures.

Lorin, Maître de conférences à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Mamy, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

de Marchena, Professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Mariage, André, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la Compagnie des Transports en commun de la Région parisienne.

Maugas, Gabriel, Ingénieur général du Génie maritime.

Mazen, N., Sous-directeur honoraire des Chemins de fer de l'Etat, Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

Pavodi, H., Président de la Société française des Electriciens, Ingénieur-conseil.

Picou, R., Ingénieur-conseil, ancien Président du Comité électrotechnique français.

Resal, Eugène, Ingénieur en chef honoraire des Ponts et Chaussées, Administrateur-directeur des Tramways de Bordeaux.

Roth, E., Ingénieur en chef à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom).

Roux, G., Directeur du Bureau de Contrôle des Installations électriques.

de Valbreuze, Ingénieur électricien, Administrateur délégué des anciens Etablissements Deberghe et Lafaye.

Vautier, T., Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Walkenaer, C., Inspecteur général des Mines.

Weiss, Georges, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Doyen de la Faculté de Médecine de Strasbourg.

SECTION DE LÉGISLATION

Blaevœt, Charles, Chef de bureau au Ministère des Travaux publics, direction des Distributions d'Energie électrique.

Bougault, P., Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Carpentier, E., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Fernand-Jacq, Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Fontaine, E., Trésorier du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Mabieu, A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Monmerqué, A., Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

Payen, F., Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Sirey, Ch., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Taillefer, A., Avocat à la Cour de Paris, ancien Elève de l'Ecole polytechnique, Membre de la Commission technique de l'Office national de la Propriété industrielle.

de la Taste, Avocat à la Cour d'Appel de Paris, Licencié ès sciences physiques et chimiques.

Weiss, Inspecteur général des Mines.

Zacon, Inspecteur du Travail.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Recherches et travaux scientifiques

GENERALITES

Etudes théoriques. — Newton, Maupertuis et Einstein : Réflexions à propos de la relativité, par *F. Prunier* (Bibliographie) 43
Un coup d'œil sur l'histoire des sciences et des théories physiques (*Emile Picard*) 567
Théorie ondulatoire et rayonnement noir (*L. Décombe*) 485
Ondes et corpuscules dans la physique moderne : Conférence de M. Louis de Broglie au Conservatoire national des Arts et Métiers 161
Progrès contemporains en physique : la fusion des théories corpusculaires et ondulatoires (*Karl-K. Darrow*) 976
Le développement de l'électricité et l'évolution des conceptions scientifiques (*H. Parodi*) 193

Recherches scientifiques et industrielles. — Les prix de l'Académie des Sciences 54
Rapport sur les travaux de recherches exécutés à la Fondation Bartol de 1928 à 1929 (*W.-F.-G. Swann*) 486

ELECTRICITE ET MAGNETISME

Généralités. — Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par *E. Haudié* (Bibliographie) 683
Cours d'électricité, par *M. Veaux* (Bibliographie) 44
Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik (Abrégé d'électrotechnique), par *Adolf Thomälen* (Bibliographie) 42
Elettrotecnica (Electrotechnique), par *L. Donati* et *G. Sartori* (Bibliographie) 962
Design of electrical apparatus (L'étude des appareils électriques), par *John-H. Kulhmann* (Bibliographie) 802
Einführung in die komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif), par *Ludwig Casper* (Bibliographie) 4
La nouvelle mécanique des quanta, par *George Birtwistle*, préface de *J. Hadamard* (Bibliographie) 8
Oscillations électroniques (*J.-J. Thomson*) 370
Ondes électroniques (*C.-J. Davisson*) 170
L'œuvre de M. Louis de Broglie (*A. Dauvillier*) .. 435
Structure de l'atome, tourbillon d'éther et pensées scientifiques indépendantes, par *L. Cugnin* (Bibliographie) 43
Sur l'ionisation et quelques-unes de ses applications techniques, par *M.-M. Sitnikov* (Bibliographie) 643

Electrostatique. — Potentiel. — La production et l'utilisation au laboratoire des potentiels très élevés (*G. Breit, M.-A. Tuve* et *O. Dahl*) 573
L'effet Schottky et les mesures de différence de potentiel de contact faites sur les filaments de tungstène thorié (*N.-B. Reynolds*) 613
Variation de la force électromotrice de l'élément Latimer-Clark sous l'influence des radiations ultraviolettes et des rayons X (*Mario Conti*) .. 166

Diélectriques. — Variation de la constante diélectrique avec la fréquence (*J.-H.-L. Johnstone* et *John-Warren Williams*) 408
La constante diélectrique des vapeurs de quelques alcools et le moment électrique des molécules de ces alcools (*J.-B. Miles*) 171
Le sel de Seignette envisagé comme diélectrique (*C.-B. Sawyer* et *C.-H. Hower*) 658
La structure des diélectriques et leur rupture (*J.-K. Gillett*) 208
Courants d'ionisation et rupture diélectrique (*J.-J. Torok* et *F.-D. Fiedler*) 611
Obtention de trois mécanismes de rupture du verre par élimination de l'effet de bords (*P.-H. Moon* et *A.-S. Norcross*) 327
Absorption diélectrique et perte diélectrique (*J.-B. Whitehead*) 92
Pertes diélectriques aux fréquences élevées (*G.-E. Owen*) 289
La théorie de l'absorption et les pertes dans les diélectriques (*S.-M. Braguine*) 56
Le potentiel de polarisation diélectrique et la loi de superposition dans le cas du caoutchouc dur (*H.-H. Race* et *J.-R. Campbell*) 330
Sur un effet résiduel anormal relatif à la résistivité apparente des diélectriques (*H. Saegusa* et *S. Shimizu*) 818
L'influence des conditions à la surface et des charges spatiales sur la conductivité des corps mauvais conducteurs (*K.-F. Herzfeld*) 285
Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné (*S.-G. Brown*) 10

Electrocinétique. Electrodynamique. — Généralités. — Electrodinamina industrial. Teoria de los campos electromagneticos (Electrodynamique industrielle. Théorie du champ électromagnétique), par *José-A. Pérez del Pulgar* (Bibliographie) .. 884

Courant électrique. Conduction. — La conduction par les ions dans les champs électriques et magnétiques croisés (*L. Page*) 172
La résistance électrique des métaux dans le champ magnétique (*Léon Bloch*) 851
Résistivité et coefficient de température du plomb, de l'étain, du zinc et du bismuth à l'état solide et à l'état liquide (*W.-B. Pietenpol* et *H.-A. Miley*) 483
Quelques propriétés thermiques et électriques du béryllium (*Evan-Jarrett Lewis*) 482
Règles à calcul et abaques pour la résolution de la formule de M. Levasseur. Calcul de la résistance des conducteurs pour toutes les fréquences du courant (*Marcel Mathieu*) 763
Le potentiel électrocinétique des métaux et la force électromotrice de mouvement (*St. Procopiu*) 897
Conduction électrique d'une solution contenant un corps granulé en suspension stable (*Sakuji Komagata*) 329
Démonstration expérimentale de l'équivalence d'une charge électrostatique animée mécaniquement d'un mouvement oscillatoire à un courant alternatif (*R.-C. Tolman* et *D.-B. Mc Rae*).... 209

Décharge électrique. Arc électrique. — La décharge électrique dans le vide et dans les gaz, par *Maurice Leblanc* (Bibliographie) 642
Sur la relation entre la chute de potentiel cathodique, la longueur de l'espace obscur et l'intensité du courant dans la décharge électrique à travers les gaz (*J.-J. Thomson*) 90
Sur l'origine de la décharge sans électrodes (*K.-A. Mc Kinnon*) 246
Considérations sur l'émission d'électrons par les conducteurs soumis à des champs intenses (*P.-W. Bridgman*) 210
Diffusion des électrons dans l'hydrogène atomique et moléculaire (*G.-P. Harnwell*) 92
La chaleur superficielle de charge (*Karl-F. Herzfeld*) 574
Sur les phénomènes manifestés par les filaments recouverts d'oxydes (*Joseph-A. Becker*) 247
L'émission thermoionique et la conductivité électrique des cathodes à oxydes (*A.-L. Reimann* et *R. Murgoci*) 697
Nouveau procédé de préparation des cathodes à oxydes (*G. Déjardin*) 541
L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions (*R. van Cauwenberghe* et *G. Marchal*) 331
Recherches sur l'arc électrique (*Nottingham*) 486
Une théorie générale du plasma d'arc (*L. Tonks* et *I. Langmuir*) 169
L'étude calorimétrique de l'arc (*P.-P. Alexander*).. 944
Le spectre d'arc et le spectre d'étincelle de l'hydrogène dans l'extrême ultraviolet (*John Thomson*) 328

Thermoélectricité. — Effets Peltier et Thomson présentés par les cristaux de bismuth (*H.-D. Fagan* et *T.-R.-D. Collins*) 855

Electrolyse. — Les solutions non aqueuses et la conductibilité des sels binaires typiques (*M.-P. Walden*) 1023
La concentration des solutions en ions hydrogène : le P_H des solutions (*E. Lemaire*) 445
Les dépôts électrolytiques sur l'aluminium et ses alliages (*Marcel Ballay*) 484
Les corrosions électrolytiques dans les condenseurs (*Walther Schmid*) 685

Rayons cathodiques et anodiques. Rayons X. — Sur la diffusion et la diffraction des rayons cathodiques (*P. White*) 978
Les taches anodiques (*C.-H. Thomas* et *O.-S. Duffendach*) 406
Sur la radioactivité de divers métaux provenant de toitures anciennes (*Augustin Boutaric* et *Madeleine Roy*) 410
Dispersion des particules β par les gaz légers et moment magnétique de l'électron (*Malcolm-C. Henderson*) 408
Pertes d'énergie des électrons qui ont traversé des feuilles minces (*Miss Allen*) 486
Les rayons X (Théorie et applications), par *Jean Thibaud* (Bibliographie) 884
Recherches sur l'émission des rayons X se produisant à la cathode de certains tubes à vide (*A. Dauvillier*) 809
Production de rayons X par des protons (*Barton*) 486

Photoélectricité. — Effet de la lumière sur l'émission thermoionique (*Kirsteh Newbury*) 249
La photoionisation dans les liquides et les cristaux : relation entre la fréquence des arêtes d'absorption pour les rayons X et la constitution chimique (*L. Pauling*) 142
Photoionisation de quelques vapeurs de métaux alcalins (*F.-L. Mohler* et *C. Boeckner*) 140
La photoionisation de la vapeur de potassium (*E.-O. Lawrence* et *N.-E. Edlefsen*) 290
Nouvelles expériences sur l'effet photoélectrique de pellicules minces de potassium et de sodium (*Nottingham*) 486
Caractéristiques de fonctionnement des cellules photoélectriques (*G.-F. Metcalf*) 171

Magnétisme. — Propriétés magnétiques des couches minces de nickel et de fer déposées sur supports métalliques (*J.-H. Howey*) 368
Les discontinuités d'aimantation dans le fer et le nickel (*C.-W. Heaps* et *J. Taylor*) 168
Recherches expérimentales sur l'effet Barkhausen (*St. Procopiu*) 896
L'effet Barkhausen dans le fer, le nickel et le permalloy : Mesure des changements discontinus de l'intensité d'aimantation (*R.-M. Bozorth*) 287
La résistance électrique des métaux dans le champ magnétique (*Léon Bloch*) 851

Electricité atmosphérique. — Ions et courants dans les couches supérieures de l'atmosphère terrestre (*E.-O. Hulburt*) 250
La protection contre la foudre 299

SCIENCES DIVERSES

Mathématiques. — Pour comprendre la trigonométrie, par *Georges Durand* (Bibliographie) 842
Leçons sur les systèmes d'équations aux dérivées partielles, par *Maurice Janet* (Bibliographie).. 316

Mécanique. — Eléments de mécanique rationnelle, par *Percey-F. Smith* et *William-Raymond Longley* (Bibliographie) 354
Les nouvelles méthodes en analyse quantique (Mé-

canique quantique. Mécanique ondulatoire), par *Julien Pacotte* (Bibliographie) 276

Hydraulique. — Surpression provoquée par l'arrêt d'un groupe motopompe dans la conduite de refoulement (*L. Escande*) 608

Chaleur. — La transmission de la chaleur, par *M. Ten Bosch* (Bibliographie) 522
Définition du rendement thermodynamique des turbines à vapeur (*G. Darrieus*) 963
A propos du compte rendu de la Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'Eau (Londres, juillet 1929) : Erratum et note complémentaire 81

Acoustique. — Introduction à une connaissance scientifique des faits musicaux, par *Pius Servien* (Bibliographie) 474

Optique. — Perfectionnement à la technique de l'obtention de l'effet Raman et cas particulier des gaz (*R.-W. Wood*) 170
L'effet Raman au voisinage du point critique (*S.-L. Ziemecki*) 542
L'effet Raman et la théorie de la lumière (*A. Corsi*) 773
Rayonnement ultraviolet du soleil et du tungstène incandescent (*W.-E. Forsythe* et *Frances Christison*) 448
Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe (*W.-E. Meserve*) 366

Géophysique. — Les méthodes de prospection du sous-sol par le courant électrique (*W. Geiger*).. 1000

Chimie. — Histoire de l'enseignement de la Chimie en France, par *René Sordes* (Bibliographie) 4

Applications techniques et industrielles

GENERALITES

Progrès réalisés dans l'industrie électrique durant l'année 1929 (*John Liston*) 344

Ouvrages et annuaires. — Vocabulaire électrotechnique : Réunion du Sous-Comité du Vocabulaire de la Commission électrotechnique internationale 681
A propos des symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique 194
Agenda Béranger 1930 (Bibliographie) 316

Unification. Normalisation. Réglementation. — Réunion du Congrès international de Normalisation (Paris, 19-28 mai 1930). Programme des travaux 721
Mise à l'enquête publique par le Comité de Normalisation de la Mécanique de diverses normalisations 3, 162, 316, 433, 601, 801
Normalisation des engrenages (*J. Androuin*) 184
Arrêté du 19 mai 1930 nommant des membres du Comité supérieur de Normalisation 1008
Les symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique (Téléphonie et Télégraphie. Radiotéléphonie et Radiotélégraphie) 128

PRODUCTION ET TRANSMISSION DE L'ENERGIE MECANIQUE

Energie hydraulique. — GÉNÉRALITÉS. — La houille blanche, par *Henri Cavaillès* (Bibliographie) .. 474
L'accumulation d'énergie par pompage (*A. Page*).. 499
Annuaire 1930 de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques (Bibliographie)..... 1010
Annuaire 1929-1930 de la Houille blanche française et des Forces naturelles mondiales (Bibliographie) 683

AMÉNAGEMENTS. — Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud (*B. Fleck*) 109

Energie thermique. — GÉNÉRALITÉS. — Note sur les connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau, par *M.-D. Sochaczewer* (Bibliographie) 433
Circulaire du 20 janvier 1930 relative à l'application de l'article 18 du décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur .. 306
Circulaire du 25 mars 1930 portant notification d'un arrêté relatif à l'usage de la soudure autogène dans la construction et la réparation des appareils à vapeur 677

AMÉNAGEMENTS. — L'équipement des chaudières au charbon pulvérisé de l'usine d'Issy-les-Moulineaux 951
L'accumulateur de vapeur système Ruths (*P. Marchand*) 584
Les corrosions électrolytiques dans les condenseurs (*Walther Schmid*) 685
Une analyse critique des installations des services auxiliaires des usines génératrices à vapeur (*M.-M. Samuels*) 151

COMBUSTIBLES. — L'évolution économique et sociale de l'industrie houillère depuis 1914 223
La manutention du charbon et des cendres à l'usine d'Issy-les-Moulineaux 912
La préparation du charbon pulvérisé à l'usine d'Issy-les-Moulineaux 947
Concours international de dépoussiérage des fumées industrielles 393

MOTEURS. — Définition du rendement thermodynamique des turbines à vapeur (*G. Darrieus*) 963

PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Généralités. — OUVRAGES ET ANNUAIRES. — La distribution de l'électricité. Droits et obligations des municipalités, des groupements agricoles et des particuliers, par *Ch. Blaevoet* (Bibliographie).. 82
Les courants alternatifs industriels et leurs applications, par *Roland Berger* (Bibliographie) .. 562
Agenda Dunod 1930 (Electricité), par *L.-D. Fourcault* (Bibliographie) 644
L'électricité en Alsace et en Lorraine. Etude économique et juridique, par *Marcel Klein* (Bibliographie) 722
Niagara power (**La puissance du Niagara**), par *E.-D. Adams* (Bibliographie) 274

STATISTIQUE. — Commentaires sur les statistiques de la production et de la distribution de l'énergie électrique en France en 1927 (*E. Genissieu*) 543

Carte de France (Usines génératrices, réseaux de distribution, lignes de transmission), par la *Société financière électrique* 82
L'électrification en Roumanie (*G.-M. Blank* et *Dorin Pavel*) 659

ORGANISATION. RÉGLEMENTATION. — Sur l'application de l'article 16 du cahier des charges des entreprises de distribution d'énergie électrique dans les campagnes 560
Arrêté du 20 novembre 1929 modifiant l'arrêté du 30 avril 1927 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique 79
Sur les instructions ministérielles concernant l'application des règles de la brochure 187 de l'Union des Syndicats de l'Electricité 520
Sur l'interdiction de l'emploi des supports en bois dans l'établissement des lignes électriques comportant des conducteurs de catégories différentes 800
Sur les plantations d'arbres au voisinage des lignes électriques (*A. Remaury*) 113
L'action possessoire et le droit de faire enlever les fils placés illégalement (Arrêt de la Cour de Cassation du 6 janvier 1930) (*Paul Bougault*) 717
Traité de concession intervenu entre la loi du 15 juin 1906 et le premier type du cahier des charges. Approbation préfectorale postérieure au 17 mai 1908 (Arrêt du Conseil d'Etat du 29 novembre 1929) (*Paul Bougault*) 155
Arrêt du 18 octobre 1929 du Conseil d'Etat relatif aux charges extracontractuelles nées de la guerre 118
Le relèvement des tarifs de concession et les instances en indemnité pour charges extracontractuelles (Arrêt du Conseil d'Etat du 27 décembre 1929) (*Paul Bougault*) 191
Sur les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire (Arrêt du Conseil d'Etat du 5 juillet 1929) (*A. Remaury*) 37
Exonération de l'impôt foncier en faveur des ouvrages établis pour la distribution de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou à des syndicats de communes (*Edgar Micanel*) 305
Sur l'imposition à la contribution des patentes des entreprises d'électrification rurale 720, 880

Réseaux. Usines génératrices. Sous-stations. — RÉSEAUX. — Discussion sur « la construction du réseau national britannique » 553
Réseau de distribution à basse tension sans équipement de protection (*Lester-R. Gamble et Earl Baughn*) 673
Evaluation de la charge maximum d'un réseau électrique (*S. Prockoroff*) 126
Note complémentaire relative à l'évaluation de la charge maximum d'un réseau électrique (*S. Prockoroff*) 481
Le réglage de la tension dans les réseaux triphasés et les transformateurs de réglage (*H. Meunier*) .. 699
Un exemple de réglage de la charge de deux réseaux dans des conditions anormales (*C.-R. Fugill*) 794
Réglage en charge des tensions et déphasages par prises auxiliaires sur les transformateurs (*H.-B. West*) 916

USINES GÉNÉRATRICES. — L'usine hydroélectrique et d'accumulation par pompage de Rocky-River .. 756
Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud (*B. Fleck*) 109
Les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité (*L. Vellard*) .. 775, 819
Les récents travaux d'extension de l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité 908, 947, 991, 1025
La production de l'énergie de pointe au moyen de groupes Diesel-génératrice (*P.-H. Schweitzer*) 423
La compensation hydraulique de la charge des usines génératrices thermiques (*J. Mathivet*) 419
Une analyse critique des installations des services auxiliaires des usines génératrices à vapeur (*M.-M. Samuels*) 151
Schaltanlagen für Drehstrom-Kraftwerke (Installations des postes de manœuvre, de réglage et de contrôle des usines génératrices à courant triphasé), par *Johann Waltjien* (Bibliographie) 604
Le fonctionnement des usines génératrices et des réseaux interconnectés (*Reinhold Rudenberg*) .. 66
Les stations centrales et les sous-stations automatiques (*d'Audeville*) 41

Production. — MACHINES ÉLECTRIQUES. — De l'influence d'une excentricité de la couronne de porte-balais sur l'équidistance des lignes de balais (*J. Froidevaux*) 164
Répartition des flux magnétiques dans les stators et rotors (*Jaroslav Kucera*) 645
Nouvelle disposition des inducteurs des machines synchrones (*A. Heyland*) 143
Le couple des machines synchrones non munies d'enroulements amortisseurs, durant les courts-circuits (*G.-W. Penney*) 383
Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne (*Joseph-Maxime Pestarini*) 355, 395
Progrès techniques réalisés dans la construction de turbogénérateurs de grande puissance (*W.-J. Foster* et *M.-A. Savage*) 267
Perfectionnements récents dans la construction des turboalternateurs (*J.-A. Kuyser*) 706
Le degré de sécurité mécanique dans les turboalternateurs de grande puissance (*H. Rickli*) 954
Groupes turbodynamos et groupes turboalternateurs de l'usine d'Issy-les-Moulineaux 1025
Enroulements doubles pour turboalternateurs (*Philip-L. Alger*, *E.-H. Freiburghouse* et *D.-D. Chase*) 1034
Le problème de la régulation des groupes électrogènes en parallèle au cours d'une perturbation (*L. Barbillion*) 575, 623
Sur les diagrammes d'alternateurs accouplés (*André Blondel*) 885, 935, 968, 1011
Expression du couple électromagnétique des alternateurs et moteurs synchrones, dans l'état variable (*F. Margand*) 123
Production directe de courant alternatif à tension élevée (*Charles-A. Parsons* et *J. Rosen*) 751
Remarques au sujet de l'autoamorçage (*G. Darrieus*) 284
Un régulateur de tension à triodes pour machines puissantes (*L.-C. Verman* et *H.-J. Reich*) 188

PILES. ACCUMULATEURS. — A propos de la théorie des accumulateurs électriques et particulièrement de l'accumulateur au plomb (*L. Jumau* et *A.-P. Rollet*) 563

Transformation. — TRANSFORMATEURS. — Le schéma équivalent du transformateur à trois enroulements (*Friedrich Ost*) 206
Transformateur de courant à impulsion de courant (*A.-B. Hendricks* et *S.-T. Maunder*) 956
Surtensions dans les transformateurs : Propagation des ondes de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire (*J. Fallou*) 5
Effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs (*J.-K. Hoënette*) 68

Les transformateurs de réglage et le réglage de la tension dans les réseaux triphasés (*H. Meunier*) 699
Excitation des transformateurs de courant en période transitoire (*D.-E. Marshall* et *P.-O. Langguth*) 382
Effet des conditions de la surface et notamment de la peinture sur l'échauffement des transformateurs (*P. Bunet*) 552

Redresseurs. Convertisseurs. — Tubes redresseurs à vapeur de mercure à cathode chaude (*H.-C. Steiner* et *H.-T. Maser*) 610
Redresseurs à vapeur de mercure (*Roy*) 41, 233
Etude sur la commutatrice (*Asataro Matano*).... 870
Principe de l'excitatrice-convertisseur de fréquence de Boucherot (Excitation sinusoïdale) (*H. de Pistoye*) 59
Une installation de 40 000 kilowatts de groupes convertisseurs de fréquence à rapport variable (*E.-S. Bundy, A. van Niekerk* et *W.-H. Rodgers*) 634
Le convertisseur de fréquence comme machine à souder par arc en courant alternatif (*Oscar Neiss*) 716
Choix de la puissance des compensateurs synchrones dans les sous-stations de l' « Elektrotok » (*E.-E. Nakhmanson*) 302
Compensateurs synchrones en série (*Théodore-H. Morgan*) 268
Système de régulation automatique des compensateurs synchrones (*L.-W. Thompson* et *P.-J. Walton*) 346
Résultats d'essais d'un compensateur synchrone de 30 000 kilovolts-ampères (*A. Mandl*) 713
Compensateurs de phase du type Scherbius (*W. Cramp*) 106

Transmission. — Généralités. — La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension (*René Thury*) 411, 459
A propos de la transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension (*Schwob*) .. 883
La transmission de l'énergie électrique à 220 000 volts 345
Transmission simultanée de courants triphasé et monophasé par superposition de ces courants sur lignes communes (exploitation sous double fréquence) (*Ernst Jacob*) 150
Le calcul rapide des courants de courts-circuits (*Otto Muhleisen*) 754
Mise à la terre du point neutre par l'intermédiaire d'une inductance. Etude des régimes transitoires asymétriques succédant à l'établissement et à la rupture du court-circuit (*Jean Fallou*) 739
A propos de la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension (*E. Brylinski* et *P. Verbèke*) 2
Calcul des surtensions dues aux ondes mobiles avec application spéciale aux bobines d'inductance (*E.-W. Boehne*) 696
Les ondes électromagnétiques dues au changement de l'impédance sur les lignes de transmission d'énergie (*A.-K. Kotelnikoff*) 442
Etude du fonctionnement des bobines d'inductance sur les lignes de distribution d'énergie à l'aide de l'oscillographe (*K.-B. MacEachron*)..... 463
A propos des absorbeurs d'ondes (*Charles Ledoux*) 337
Compte rendu de la session de 1929 de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute tension (Bibliographie) 883

Lignes. Canalisations. Conducteurs. — Sur le développement en série de l'impédance d'une ligne uniforme (*J.-B. Pomey*) 163
Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette (*Jean Silva*) 195, 242
Calculs mécaniques des lignes aériennes : méthode de Percy-H. Thomas (*Percy-H. Thomas*)..... 324
Calcul des flèches de conducteurs aériens dans le cas de très grandes portées (*Henri Costes*) 83
Calculs mécaniques des lignes aériennes (Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique) 82
Calculs de la résistance des conducteurs pour toutes les fréquences du courant. Règles à calcul et abaques pour la résolution de la formule de M. Levasseur (*Marcel Mathieu*) 763
Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest (*P. Combe* et *H. Lajus*) 173, 177
Sur l'interdiction de l'emploi des supports en bois dans l'établissement des lignes électriques comportant des conducteurs de catégories différentes 800
A propos d'un article sur la traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer (*M. Bourseire*). 841
L'amorçage à 60 périodes par seconde aux longues chaines d'isolateurs suspendus (*R.-H. Angus*) .. 110
High voltage cable (Les câbles à haute tension), par *L. Emanueli* (Bibliographie) 162
Le câble SO (*Konstantinowsky*) 151

Appareillage. Tableaux. — Intensité de courant admissible dans les berres générales (*H.-W. Papst*) 29
Nouvelles contributions expérimentales à l'étude d'un disjoncteur limiteur ultrapide (*P. Branchu*) 217
Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile (*J. Kopeliowitch*) 251, 291
Grilles « deïon » pour les disjoncteurs dans l'huile 795
Interrupteur de grande puissance sans huile (*J. Biermans*) 262, 822
Essais d'interrupteurs à grille « deïon » (*L.-W. Dyer*) 998
Pression développée par la fusion de fusibles ou l'établissement d'arcs en vase clos (*G. Allsop*).. 28
Relais fonctionnant à l'équilibre indifférent (*H. de Bellescize*) 857, 899
Bobines d'inductance de mise à la terre avec noyau de fer excité par courant continu (*Masuho Terada*) 64
Théorie d'un nouveau parafoudre à valve (*J. Slepian, R. Tamberg* et *C.-E. Krause*)..... 541

Protection. — Der Erdschluss und seine Bekämpfung (La mise à la terre accidentelle et la protection contre ces défauts), par *G. Oberdofer* (Bibliographie) 613
Dispositif de protection contre les défauts à la terre par courant porteur (*E.-R. Stauffacher* et *F.-B. Doolittle*) 355
Description d'un relais destiné à la protection sélective des réseaux (*H. Wessner*) 1034
L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions (*R. van Cauwenberghe* et *G. Marchal*).... 331

CONSTRUCTION MECANIQUE ET ELECTRIQUE

Généralités. — Progrès techniques réalisés dans la construction des turbogénérateurs de grande puissance (*W.-J. Foster* et *M.-A. Savage*) 267

Ouvrages. Annuaires. — Annuaire 1929-1930 du Syndicat général de la Construction électrique (Bibliographie) 162

Agenda Dunod 1930 (Construction mécanique), par *J. Izart* (Bibliographie) 122
Comment on devient fraiseur, par *René Champly* (Bibliographie) 44
Guide de l'ajusteur, par *Jules Merlot* et *J. Donnay* (Bibliographie). 234

Normalisation. — Normalisations mises à l'enquête publique par le Comité de Normalisation de la Mécanique :
Hauteurs d'axe des machines motrices et des machines réceptrices 3
Engrenages droits et engrenages courbes 162
Fraises à tailler les rainures; guides de perçage.. 316
Supports d'outils pour tours et autres machines; diamètres normaux 433
Repérages des pièces filetées à gauche; axes d'articulation, rondelles, goupilles, écrous, etc., servant à les fixer 601
Trous de passage des boulons; teintes conventionnelles des tuyauteries; tubes à gaz, filetage au pas du gaz; tubes sans soudure du commerce 801
— Voir aussi plus haut, aux généralités des Applications techniques et industrielles, page VII.

Matériaux. — Les applications en électrotechnique de l'acier revêtu de cuivre (*G. Dettmar*).. 554
La production et les emplois du beryllium (*K. Illig*) 14
Les produits réfractaires, par *Robert Leduc* (Bibliographie) 394
La technique des huiles isolantes (*René Audubert*) 101
Les propriétés des tôles magnétiques (*B.-G. Churcher*) 369
Le potentiel de polarisation diélectrique et la loi de superposition dans le cas du caoutchouc dur (*H.-H. Race* et *J.-R. Campbell*) 330
Absorption diélectrique et perte diélectrique (*J.-B. Whitehead*) 92
Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné (*S.-G. Brown*) 10

APPLICATIONS MECANIQQUES DE L'ELECTRICITE

Machines motrices. — Moteurs électriques. — Kompensierte und synchronisierte Asynchronmotoren (Moteurs asynchrones compensés et synchronisés), par *H.-F. Schait* (Bibliographie).... 644
Die asynchronen Wechselfeld Motoren; Kommutator und Induktions Motoren (Les moteurs asynchrones à champ alternatif; moteurs à collecteur et d'induction), par *Gustav Benischke* (Bibliographie) 682
Expression du couple électromagnétique des moteurs synchrones dans l'état variable (*F. Margand*) 123
Détermination de la puissance des moteurs électriques pour service intermittent (*C. Schiebeler*) 45
Moteurs d'induction silencieux (*L.-E. Hildebrand*) 672
Un nouveau moteur asynchrone compensé (*H. de Pistoye*) 15, 57
Le moteur Dassenoy 422
Moteurs destinés à des locaux contenant des mélanges gazeux hydrogénés (*Phil Suter*) 670
Bobinages rotoriques d'excitation pour moteurs à quatre pôles (*H. de Pistoye*) 63

Applications diverses. — Groupes moteurs-pompes électriques pour le refoulement des huiles dans les canalisations (*G.-R. Prout*) 187
Stations de pompage à fonctionnement automatique (*K. Thürlemann*) 872
Surpression provoquée par l'arrêt d'un groupe motopompe dans la conduite de refoulement (*L. Escande*) 608
Electrification d'une importante mine d'or aux Etats-Unis (*J.-F. Wiggert*) 147
Elektrobetrieb in der Textilindustrie (Applications de l'électricité à l'industrie textile), par *Wilhelm Stiel* (Bibliographie) 684
L'électricité dans l'industrie de l'imprimerie (*Justus Eck*) 302
La commande des machines à papier à plusieurs moteurs avec synchronisation électrique des vitesses (*R. Louchart*) 211

TRACTION ET LOCOMOTION

Chemins de fer et tramways. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Suisse (*Huber-Stockar*) 761
Etat actuel de l'électrification des chemins de fer de Grande-Bretagne (*Roger Smith*) 921
Calcul des longueurs des pendules des lignes caténaires souples (*H. Costes*) 723, 767
A propos du calcul des longueurs des pendules des lignes caténaires souples (*Société générale d'Electrification*) 922
Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu (*A. della Riccia*) 449, 487
Relations nouvelles entre les grandeurs fondamentales pour l'exploitation des tramways et chemins de fer souterrains à grande vitesse (*Hans Voigtlaender*) 674

Voitures à accumulateurs. — Les véhicules électriques à accumulateurs; les camions de la Société des Véhicules électriques industriels (*G. Delange*) 31
Tracé des courbes utiles pour l'exploitation et le projet des voitures électriques à accumulateurs (*E. Marquart* et *H. Reimers*) 674
Les applications de la traction électrique aux poids lourds (*Gasquet*) 353
La traction à accumulateurs dans les mines, considérée comme un problème de rationalisation industrielle (*Mille*) 761

COMMUNICATIONS A DISTANCE

Généralités. — Telegraphy and telephony including wireless communications (Télégraphie et téléphonie y compris les radiocommunications), par *E. Mallett* (Bibliographie) 82
Sur le développement en série de l'impédance d'une ligne uniforme (*J.-B. Pomey*) 163
Equivalent de transmission (*J.-B. Pomey*) 475
Quadripôles et filtres (*J.-B. Pomey*) 235
A propos des quadripôles et filtres (*A. Auric*) 354
A propos des quadripôles et filtres (*A.-E. Kennelly*) 962

Télégraphie. — Emission d'un courant télégraphique sur un câble pupinisé (*J.-B. Pomey*)..... 605
La qualité du synchronisme dans l'appareil Baudot et ses conséquences au point de vue de la vitesse de transmission (*M. Bayard*)..... 12
Le système de télégraphie Baudot et ses applications, par *P. Mercy* (Bibliographie) 434

Téléphonie. — Installations téléphoniques (Guide pratique), par *R. Parésy* (Bibliographie) 683
Les câbles téléphoniques à longue distance (*A. Engelhardt* et *H. Cobden-Turner*) 109
Le câble téléphonique pupinisé (*J.-B. Pomey*) 690

Le système de téléphonie automatique de la Compagnie des Téléphones Thomson-Houston, dit Système R6 (*Gohorel*) 561
Le nouveau câble téléphonique Paris-Bordeaux (*M. Garreau*) 633

Radiocommunications. — A la conquête des ondes. La T. S. F., par *Paul Brenot* (Bibliographie).. 276
Guide pratique de l'amateur radiophoniste, par *Jean Defontaine* (Bibliographie) 122
Les lampes à plusieurs grilles (*B. Decaux*) 523
Les variations de fréquence des oscillateurs à lampes (*D.-E. Martyn*) 409
Calcul des caractéristiques et des dimensions des triodes (*Yuziro Kusunose*) 367
Note sur l'amplificateur à grande résistance de grille (*W.-B. Nottingham*) 55
Effet des gaz occlus et de l'humidité sur la résistance de condensateurs à air aux fréquences radioélectriques (*H.-M. Fletcher*) 774
Appareils transmetteurs et récepteurs pour expériences sur ondes ultracourtes (*R.-L. Smith-Rose* et *J.-S. Mc Petrie*) 542
Réflecteur pour ondes hertziennes polarisées très courtes (*A. della Riccia*) 87
Le réglage des postes récepteurs de T. S. F. par l'emploi des dispositifs de repérage nominal « valundia » (*J.-L. Routin*) 26
Les nouvelles stations de radiodiffusion françaises d'Alger et de Strasbourg-Brumath (*Michel Adam*) 371

Signalisation. — La signalisation des passages à niveau (*G.-F. Wittgenstein*) 68

Divers. — Transmetteurs d'ordre et indicateurs électriques à distance (*P. Froger*) 796
Le développement de la mesure électrique à distance (*G. Keinath*) 265
A propos des instruments de musique radioélectriques (*J. Reyval*) 945
Films sonores et films parlants (*A. Soulier*) 221

ECLAIRAGE

Commission internationale de l'Eclairage. Réunion du Comité de l'Eclairage pour la Navigation aérienne (Berlin 28-30 avril 1930) (*Maurice Leblanc*) 803
Nouvelles installations de balisage des lignes de navigation aérienne (*H. Walter*) 556
L'application aux routes aériennes des alignements radioélectriques à double modulation et observation visuelle (*H. Diamond*) 632
Un nouveau centre d'études des questions relatives à l'éclairage : l'Association des Ingénieurs de l'Eclairage 521
De l'éclairement moyen des espaces circulaires (*H. Pécheux*) 843
Lampes à gaz rares à basse tension (*J.-B.-J.-M. Abadie*) 731
Progrès et derniers perfectionnements apportés aux tubes luminescents et à leurs applications (*J.-B.-J.-M. Abadie*) 921
Utilisation des très hauts potentiels à l'alimentation des tubes à vide (*M.-A. Tuve, G. Breit* et *L.-R. Hafstad*) 370
Electric street lighting (Eclairage électrique des rues) (Bibliographie) 122
La commande des circuits d'éclairage public avec lampes montées en parallèle (*R.-W. Gillette*).. 31
Les nouveaux procédés d'éclairage au théâtre (*A. Curchod*) 615
Deux nouveaux systèmes d'éclairage des trains (*L. Dreyfus*) 830

APPLICATIONS THERMIQUES

La fusion de l'aluminium au four électrique (*A. Belin*) 591
La régulation automatique des fours électriques de fonderie (*A. Levasseur*) 665
La soudure électrique à l'arc et ses applications, par *Maurice Lebrun* (Bibliographie) 682
Progrès récents réalisés dans les nouveaux procédés de soudure électrique (*Jean Brillié*) 787
Soudage par arc avec un convertisseur de fréquence comme machine à souder (*Oscar Neiss*) 716
La soudure des métaux ferreux et non ferreux par la flamme de l'hydrogène atomique (*R.-A. Weinman*) 424
Arrêté du 25 mars 1930 relatif à l'usage de la soudure autogène dans la construction et la réparation des appareils à vapeur 639
Note additionnelle à l'arrêté du 25 mars 1930 sur quelques précautions à prendre dans chacun des procédés de soudure autogène 640

APPLICATIONS A LA CHIMIE

Réunion du Comité de l'Aluminium, de la Commission électrotechnique internationale 1

APPLICATIONS DIVERSES

L'électricité à la maison, par *E. Marec* (Bibliographie) 194
Les méthodes de prospection du sous-sol par le courant électrique (*W. Geyger*) 1000

MESURES ET ESSAIS

Généralités. — Unités magnétiques. — Les unités du circuit magnétique (*A.-E. Kennelly*) 923
A propos de la question des unités magnétiques (*Paul Janet*) 933

Mesures électriques. — L'amplificateur apériodique dans la technique des mesures (*Manfred von Ardenne*) 249
La mesure des courants continus de forte intensité (*P. Gonnard*) 95
Un voltmètre électrodynamique avec suppression du zéro (*Harris*) 614
Wechselstrom Leistungsmessungen (Mesures des puissances en courant alternatif), par *Werner Skirl* (Bibliographie) 522
Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent (*S. Held*) 277, 317
Un nouveau dispositif de mesure en courant alternatif musical : le potentiomètre-phasemètre. Application à la phonométrie (*Andillon*)..... 234
Présentation des nouveaux oscillographes de M. Blondel et de leurs applications (*Vassillière-Arlhac*) 358
Mesure d'une résistance en haute fréquence (*W. Jackson*) 612
Une méthode d'étalonnage des transformateurs de courant (*W.-E. Bruges*) 464
Modification du pont de Kohlrausch pour la mesure des résistances en courant alternatif (*E. Denina*) 737
L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions (*R. van Cauwenberghe* et *G. Marchal*) 331
Code for electricity meters (Manuel pour l'emploi des compteurs électriques) (Bibliographie).. 234

Comptage de l'énergie électrique en courants alternatifs, par *J. Tartinville* (Bibliographie) 683
Organes de pivotage des compteurs électriques (*W. Lawson*) 555
Sur la confection des électrodes destinées aux essais de rigidité diélectrique des isolants (*G. Pfestorf*) 856
Pont pour la mesure des pertes diélectriques dans les isolateurs de traversée et les condensateurs pour haute tension (*Enzo Pugno-Vanoni*) 657
Contribution à la mesure de l'angle de pertes des diélectriques en fonction de la fréquence (*C. Chiodi*) 815
La production d'effluves de surface et les essais à haute tension (*Takeshi Nishi et Keizo Ikeda*) 572
Mesures précises de la perméabilité de barreaux droits et de lames dans les régions de haute perméabilité (*E.-E. Webb* et *L.-H. Ford*) 167

Mesures optiques. — La photométrie des lampes au néon à électrodes hélicoïdales et leurs caractéristiques (*Z. Yamauti* et *M. Okamatu*) 898
Nouveaux pyromètres optiques à radiation totale (*S. Held*) 979

Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe (*W.-E. Meserve*) 366

Divers. — Analyse et mesure du bruit émis par les machines (*B.-A.-G. Churcher* et *A.-J. King*) 342
Les méthodes de recherche en métallographie (*G. Masing*) 93
Essais, réglage et mise au point des moteurs d'automobiles et d'aviation, par *René Bardin* (Bibliographie) 682
L'effet des conditions d'oxydation sur les essais de corrosion électrolytique accélérée (*H.-S. Rawdon* et *W.-A. Tucker*) 613

ACCIDENTS DUS A L'ELECTRICITE

Comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif en basse tension 115/200 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé (*G. Burin des Roziers*) 296, 602

Economie sociale, industrielle, financière, etc.

TRAVAIL. TRAVAILLEURS

Généralités. — L'évolution des question ouvrières et sociales pendant l'année 1929 ..... 425, 465
Le mouvement des salaires en France en 1929.... 515
Variations comparées du coût de la vie et des salaires dans les industries du métal de la région parisienne 557

Réglementation. — Sur les droits qu'ont les entrepreneurs étrangers de travailler pour les administrations publiques 352
Sur les exonérations fiscales dont bénéficient les sociétés anonymes à participation ouvrière 600
Décret du 7 février 1930 modifiant le décret du 9 juin 1928 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 25 avril 1924 sur l'emploi obligatoire des mutilés de guerre 519
Sur l'application de la loi relative à l'emploi obligatoire des mutilés de guerre 799
Sur les conditions dans lesquelles est autorisée l'introduction de la main-d'œuvre étrangère 720
Sur les règlements concernant l'embauchage des ouvriers étrangers en rupture de contrat de travail. 159
Arrêt de la Cour de Cassation du 19 novembre 1929 concernant le délai-congé 351
Jugement du Conseil des Prud'hommes du Canton de Belfort relatif à la rupture du contrat de travail par la « grève des bras-croisés » 879
Sur la législation relative à l'artisanat 599
Sur l'appréciation de la qualité d'artisan 800

Accidents et maladies. — Arrêt de la Cour de Cassation du 18 novembre 1929 concernant la législation sur les accidents du travail 892
Arrêt du 3 décembre 1929 de la Cour de Cassation concernant le versement des indemnités dues pour accidents du travail 891
Arrêt du 2 décembre 1929 de la Cour de Cassation relatif à la détermination de l'indemnité due à un ouvrier victime d'un accident du travail et déjà pensionné pour accident antérieur analogue .. 559
Décret du 16 novembre 1929 abrogeant et remplaçant le décret du 19 février 1927 relatif à la déclaration obligatoire des maladies d'origine professionnelle par application de l'article 12 de la loi du 25 octobre 1919 en vue de l'extension éventuelle de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail 119
Projet de loi concernant les maladies d'origine professionnelle 1008

Assurances sociales. — Sur l'application de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières 799
Sur la législation des retraites ouvrières et des assurances sociales 559
Sur l'application de la législation sur les assurances sociales 38, 79, 271, 720
Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux ouvriers étrangers saisonniers 272
Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux personnes n'effectuant qu'occasionnellement un travail salarié 272
Sur l'application de la législation des assurances sociales aux ouvriers et employés détachés en Alsace et en Lorraine 160
Sur la situation des caisses de secours mutuels au point de vue des assurances sociales 120

Apprentissage. Orientation professionnelle. — Sur les formalités relatives à la transmission des contrats d'apprentissage aux conseils des prud'hommes 840
Le développement de l'orientation professionnelle (*G.-E. Bertin*) 33

RICHESSE PUBLIQUE ET PRIVÉE

Propriété immobilière. — Sur les droits d'expropriation que confère aux compagnies ferroviaires la concession d'usines ou de lignes électriques.. 40
Sur la propriété des arbres plantés sur les talus ou les fossés des routes départementales ou communales 120

Propriété scientifique et industrielle. — La troisième phase de la réforme de la loi du 5 juillet 1848 sur les brevets d'invention (*Fernand-Jacq*) 71

Arrêt du 10 décembre 1929 de la Cour d'Appel de Paris concernant le droit de poursuite en contrefaçon d'un brevet d'invention 559
Arrêt du 26 novembre 1929 de la Cour de Cassation relatif à la propriété d'une marque de fabrique étrangère utilisée pendant la guerre par une maison française 351

Finances publiques. Impôts et taxes. — Budget. — Loi du 16 avril 1930 portant fixation du budget général pour l'exercice 1930-1931 797

Contribution foncière. — Arrêt du Conseil d'Etat du 6 décembre 1929 stipulant que les kiosques à journaux ne sont pas imposables à la contribution foncière 520
Sur le dégrèvement des impôts fonciers relatifs à une usine en chômage 840
Exonération de l'impôt foncier en faveur des ouvrages établis pour la distribution de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou à des syndicats de communes (*Edgar Micanel*) 305

Contribution des patentes. — Sur les bases d'établissement de la contribution des patentes 1008
Sur les droits de patente appliqués aux entreprises d'électrification rurale 80
Sur l'imposition à la contribution des patentes des entrepreneurs d'électrification rurale 720, 880

Taxes sur les valeurs mobilières. — Sur l'application de la taxe de transmission aux actions d'apport nominatives 30
Sur l'impôt frappant le revenu des actions reçues par une société en rémunération d'apports faits à une autre société 80
Sur l'impôt frappant les plus-values des valeurs mobilières possédées par une société 80
Arrêt de la Cour de Cassation du 3 mars 1930 concernant les impôts frappant les primes d'émission d'actions 719
Sur la taxe à laquelle sont soumises les cessions de parts lors de la transformation d'une société en nom collectif en société à responsabilité limitée 352
Sur l'application de la réduction du droit de timbre sur les valeurs mobilières prévue par la loi du 29 décembre 1929 839

Taxe sur le chiffre d'affaires et sur les bénéfices industriels et commerciaux. — Sur le calcul de la taxe sur le chiffre d'affaires 800
Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires à la totalité du versement de l'acheteur 119
Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires au loyer d'une usine louée par un gérant d'une société à responsabilité limitée à ladite société.. 840
Sur l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'une société anonyme ayant des succursales à l'étranger 39
Sur la possibilité de constituer une réserve pour risque d'incendie, déductible du bénéfice servant de base à l'impôt 640
Les dépenses d'ordre social effectuées par les industriels peuvent-elles être déduites des bénéfices de l'entreprise en vue de l'imposition de ces bénéfices? 878
Sur les conditions dans lesquelles les pertes d'exploitation peuvent être déduites d'un bénéfice ultérieur 799
Les dépenses d'ordre social peuvent-elles être déduites des bénéfices de l'entreprise en vue de l'imposition de ces bénéfices 878
Sur le taux de l'amortissement des maisons ouvrières construites par les patrons admis au point de vue fiscal 160
Sur la déclaration des bénéfices que doit faire une société lors de sa dissolution 40
Sur le droit de l'administration d'établir une imposition complémentaire pour insuffisance de taxation sur les bénéfices commerciaux 840

Divers. — Les sociétés à responsabilité limitée; leur régime fiscal, par *Jeanne Carlot* (Bibliographie) 722
Sur l'impossibilité pour un inventeur de déduire de ses revenus, en vue de ses impôts, les dépenses qu'il a effectuées pour réaliser son invention .. 160
Sur le mode d'imposition applicable aux gérants des sociétés à responsabilité limitée 392
Sur la situation, au point de vue fiscal, des courtiers de publicité 840
Sur le droit des agents de l'Enregistrement de pénétrer dans les lieux publics en vue de la perception de la taxe sur les affiches lumineuses .. 640

AGRICULTURE

Sur l'application de l'article 16 du cahier des charges des entreprises de distribution d'énergie électrique dans les campagnes 560
Sur les prestations en nature et l'électrification des campagnes 600
Sur la possibilité d'obtenir des subventions pour l'électrification des fermes isolées 560
Sur les conditions imposées pour l'octroi de subventions en vue de la construction de lignes électriques destinées à alimenter des écarts ruraux.. 119
Sur la possibilité qu'ont les propriétaires intéressés de se substituer à la commune pour l'électrification des campagnes 272
Sur la possibilité qu'ont les maires des communes devant être traversées par une ligne de transmission d'énergie de prendre connaissance du projet d'exécution 159

INDUSTRIE

Généralités. — Sur l'assujettissement à la vérification des poids et mesures 40
L'organisation de la sécurité aux Etablissements Schneider (Usine du Creusot) 757
Le calcul des prix de revient dans l'industrie, par *André Blandin* (Bibliographie) 802
Livre d'or des connaissances utiles (Arts et métiers), par *Marcel Bourdais* (Bibliographie) 922
Loi du 1er mai 1930 modifiant la loi du 22 novembre 1913 sur le régime des sociétés 1007
La réévaluation des bilans au point de vue fiscal, par *Roger Lefebvre* et *Jacques Lefebvre* (Bibliographie) 562
Sur les droits que possèdent les commissaires aux comptes des sociétés anonymes en vue de la vérification de ces comptes 120
Sur la négociabilité des actions d'apport d'une société à responsabilité limitée qui se transforme en société anonyme 40
Décret du 17 février 1930, portant règlement d'administration publique pour l'application des articles 1er à 9 et 13 à 17 du décret du 28 décembre 1926 sur les régies municipales et la participation des communes, à des entreprises privées.. 520

Sur la législation relative à l'organisation du crédit aux sociétés coopératives d'artisans 312

Industrie électrique. — Sur l'interdiction de l'emploi des supports en bois dans l'établissement des lignes électriques comportant des conducteurs de catégories différentes 800
Sur l'obligation pour les entreprises de maintenir en bon état de fonctionnement les compteurs électriques pour lesquels elles perçoivent une redevance d'entretien 159
Sur la non-obligation pour les distributeurs d'énergie électrique de percevoir eux-mêmes les taxes municipales sur l'électricité 600
Sur le droit qu'ont les locataires d'effectuer des installations électriques dans les lieux loués 392
Arrêt du Conseil d'Etat du 27 décembre 1929 concernant le point de départ des charges extra-contractuelles d'un concessionnaire de l'éclairage d'une commune 599
Sur le régime administratif de la radiodiffusion .. - 352

COMMERCE

Commerce extérieur. — Importations et exportations françaises pendant les douze mois de l'année 1929 (*J. Reyval*) 501
Importations et exportations françaises pendant les trois premiers mois de l'année 1930. (*J. Reyval*) 1035
Exportations et importations de matériel électrique de la Grande-Bretagne en l'année 1929 385
Le marché international des métaux en 1929 347

Expositions. Concours. — Exposition annuelle de la Société française de Physique 841. 961
Concours international de dépoussiérage des fumées industrielles 393

Divers. — Loi du 15 janvier 1930 abrogeant le paraphe et le visa annuels du livre journal et du livre des inventaires prescrits par l'article 10 du Code de Commerce 391
L'emploi des cadres dans le transport des marchandises (*F. Javary*) 636

Sociétés, Groupements, Personnalités

SOCIETES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Académie des Sciences. — Les prix de l'Académie des Sciences 54
Les dépôts électrolytiques sur l'aluminium et ses alliages (*Marcel Ballay*) 484
Théorie ondulatoire et rayonnement noir (*L. Décombe*) 485
Un coup d'œil sur l'histoire des sciences et des théories physiques (*Emile Picard*) 567

Société française de Physique. — Nouveau procédé de préparation des cathodes à oxydes (*G. Déjardin*) 541
Exposition annuelle, conférences et visites .. 841, 961

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Progrès récents réalisés dans les nouveaux procédés de soudure électrique (*Jean Brillié*) 787

Société française des Electriciens. — Organisation de son Service de Documentation 635
Séance du 4 janvier 1930. — Les stations centrales et les sous-stations automatiques (*d'Audeville*) 41
Les redresseurs à vapeur de mercure (*Roy*) 42
Séance du 1er février 1930. — Le développement de l'électricité et l'évolution des conceptions scientifiques (*H. Parodi*) 193
Redresseurs à vapeurs de mercure (*Roy*) 233
Un nouveau dispositif de mesure en courant alternatif musical : le potentiomètre phasemètre. Applications à la phonométrie (*Nandillon*) 233
Séance du 1er mars 1930. — Présentation des nouveaux oscillographes de M. Blondel et de leurs applications (*Vassillière-Arlhac*) 353
Les applications de la traction électrique aux poids lourds (*Gasquet*) 353
Séance du 5 avril 1930. — Le système de téléphonie automatique de la Compagnie des Téléphones Thomson-Houston, dit Système R6 (*Gohorel*) 561
Séance du 7 mai 1930. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Suisse (*Huber-Stockar*) 761
La traction à accumulateurs dans les mines, considérée comme un problème de rationalisation industrielle (*Mille*) 762
Séance du 4 juin 1930. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer de Grande-Bretagne (*Roger Smith*) 922
Progrès et derniers perfectionnements apportés aux tubes luminescents et à leurs applications (*M. Abadie*) 923

Association suisse des Electriciens. — Transmission simultanée de courants triphasé et monophasé par superposition de ces courants sur lignes communes (Exploitation sous double fréquence) (*Ernst Jacob*) 150
Moteurs destinés à des locaux contenant des mélanges gazeux hydrogénés (*Phil. Suter*) 670

Institution of electrical Engineers. — Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné. (*S.-G. Brown*) 10
Compensateurs de phase du type Scherbius (*W. Cramp*) 106
Mesures précises de la perméabilité de barreaux droits et de lames dans les régions de haute perméabilité. (*E.-E. Webb* et *L.-H Ford*) 167
Anaylse et mesure du bruit émis par les machines (*B.-A.-G. Churcher* et *A.-J. King*) 342
Une méthode d'étalonnage des transformateurs de courant (*W.-E. Bruges*) 464
Discussion sur « la construction du réseau national britannique » 553
Organes de pivotage des compteurs électriques (*W. Lawson*) 555
Mesure d'une résistance en haute fréquence (*W. Jackson*) 612
Perfectionnements récents dans la construction des turboalternateurs (*J.-A. Kuyser*) 706
Production directe de courant alternatif à tension élevée (*Charles-A. Parsons* et *J. Rosen*) 751

Institute of Radio Engineers. — Caractéristiques du fonctionnement des cellules photoélectriques (*G.-F. Metcalf*) 171
Un régulateur de tension à triodes pour machines puissantes (*L.-C. Verman* et *H.-J. Reich*) 188
Calcul des caractéristiques et des dimensions des triodes (*Yuziro Kusunose*) 367

Tubes redresseurs à vapeur de mercure à cathode chaude (*H.-C. Steiner* et *H.-T. Maser*) 610
L'application aux routes aériennes des alignements radioélectriques à double modulation et observation visuelle (*H. Diamond*) 632

Franklin Institute. — Note sur l'amplificateur à grande résistance de grille (*W.-B. Nottingham*) 55
Absorption diélectrique et perte diélectrique (*J.-B. Whitehead*) 92
Perfectionnement à la technique de l'obtention de l'effet Raman et cas particulier des gaz (*R.-W. Wood*) 170
Ondes électroniques (*C.-J. Davisson*) 170
Obtention de trois mécanismes de rupture du verre par élimination de l'effet de bords (*P.-H. Moon* et *A.-S. Norcross*) 327

American Institute of electrical Engineers. — Effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs (*J.-K. Hodnette*) 68
L'amorçage à 60 périodes par seconde aux longues chaînes d'isolateurs suspendus 110
Progrès techniques réalisés dans la construction de turbogénérateurs de grande puissance (*W.-J. Foster* et *M.-A. Savage*) 267
Compensateurs synchrones en série (*Théodore-H. Morgan*) 268
Système de régulation automatique des compensateurs synchrones (*L.-W. Thompson* et *P.-J. Walton*) 346
Excitation des transformateurs de courant en période transitoire (*D.-E. Marshall* et *P.-O. Langguth*) 382
Le couple des machines synchrones non munies d'enroulements amortisseurs, durant les courts-circuits (*G.-W. Penney*) 383
Théorie d'un nouveau parafoudre à valve (*J. Slepian, R. Tamberg* et *C.-E. Krause*) 541
Courants d'ionisation et rupture diélectrique (*J.-J. Torok* et *F.-D. Fielder*) 611
Une installation de 40 000 kilowatts de groupes convertisseurs de fréquence à rapport variable (*E.-S. Bundy, A. van Niekerk* et *W.-H. Rodgers*) 634
Moteurs d'induction silencieux (*L.-E. Hildebrand*) 672
Réseau de distribution à basse tension sans équipement de protection (*Lester-R. Gamble* et *Erl Baughn*) 673
Réglage en charge des tensions et déphasages par prises auxiliaires sur les transformateurs (*H.-B. West*) 916
L'étude calorimétrique de l'arc (*P.-P. Alexander*) 944
Enroulements doubles pour turboalternateurs (*Philip-L. Alger, E.-H. Freiburghouse* et *D.-D. Chase*) 1034

Illuminating Engineering Society of America. — Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe (*W.-E. Meserve*) 366

Institute of electrical Engineers of Japan. — Bobines d'inductance de mise à la terre avec noyau de fer excité par courant continu (*Masuho Terada*) 64
La production d'effluves de surface et les essais à haute tension (*Takeshi Nishi* et *Keizo Ikeda*). 572
Etude sur la commutatrice (*Asataro Matano*).... 870

COMITES. COMMISSIONS

Commission électrotechnique internationale. — Réunion du Comité de l'Aluminium 1
Réunion du Sous-Comité du Vocabulaire 681
Les symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique (Téléphonie et Télégraphie. Radiotélégraphie et Radiotéléphonie) 128
Programme de la session plénière de 1930 (27 juin-9 juillet) 473

Comité électrotechnique français. — Séance du 20 juin 1929 273
Séance du 23 novembre 1929 313
Séance du 23 janvier 1930 881

Commission internationale de l'Eclairage. — Réunion du Comité de l'Eclairage pour la Navigation aérienne (Berlin 28-30 avril 1930) (*Maurice Leblanc*) 803
Travaux du Sous-Comité de l'Eclairage sur le Sol (*Maurice Leblanc*) 804
Travaux du Sous-Comité de l'Eclairage sur l'Avion (*Maurice Leblanc*) 805
Recommandations du Comité technique de l'Eclairage pour la Navigation aérienne (*Maurice Leblanc*) 806

Association des Ingénieurs de l'Eclairage. — Sa création et ses statuts 521

Commission permanente de Standardisation. — Normalisation des engrenages (*J. Androuin*) 184

Comité de Normalisation de la Mécanique. — Mise à l'enquête publique d'un projet de normalisation des hauteurs d'axes des machines motrices et des machines réceptrices 3
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation relatifs aux engrenages 162
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation concernant les fraises à tailler les rainures et les guides de perçage 316
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation concernant les supports d'outils pour tours et les diamètres normaux 433
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation concernant l'un le repérage des pièces filetées à gauche, l'autre, les rondelles, goupilles, écrous, etc. 601
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation et de trois projets de simplification. Trous de passage des boulons. Teintes conventionnelles des tuyauteries. Tubes à gaz et tubes à gaz renforcés. Filetage au pas du gaz. Tubes en acier étiré sans soudure..... 801

CONGRES. CONFERENCES

Congrès. — Congrès de l'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles (Varsovie, 1930). 641
Congrès international de Normalisation (Paris, 19-28 mai 1930). Programme des travaux 721

Conférences. — Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension. Session de 1929. (Bibliographie) 883
Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'eau (Londres, juillet 1929). A propos du compte rendu : Erratum et note complémentaire 81

SOCIETES ET GROUPEMENTS PROFESSIONNELS

Syndicat général de la Construction électrique. — Annuaire 1929-1930 162

Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles. — Congrès de Varsovie (1930)..... 641

INSTITUTIONS DIVERSES

Bureau of Standards. — Photoionisation de quelques vapeurs de métaux alcalins (*F.-L. Mohler* et *C. Boeckner*) 140
La protection contre la foudre 299
L'effet des conditions d'oxydation sur les essais de corrosion électrolytique accélérée (*H.-S. Rawdon* et *W.-A. Tucker*) 613
Un voltmètre électrodynamique avec suppression du zéro (*Harris*) 614

Conservatoire national des Arts et Métiers. — Conférence de M. Louis de Broglie sur les ondes et corpuscules dans la physique moderne 161

Electrotechnical Laboratory of Japan. — Conduction électrique d'une solution contenant un corps granulé en suspension stable (*Sakuji Komagata*).. 329

SOCIETES INDUSTRIELLES OU COMMERCIALES

Applications nouvelles du Ciment armé (Sanca) (Société d' —). — Assemblée générale ordinaire du 22 février 1930 960

Ariège (Société des Forces motrices de l'—). — Assemblée générale ordinaire du 14 janvier 1930.... 387

Aspe (Société des Forces motrices de la Vallée d'—) — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1929 231

Assurances (Société mutuelle électrique d'—). — Assemblée générale ordinaire du 25 mars 1930.. 834

Azote (Société norvégienne de l' — et de Forces hydroélectriques). — Assemblée générale ordinaire du 28 novembre 1929..... 69

Basse-Loire (Energie électrique de la —). — Assemblées générales ordinaire et extraordinaire du 14 avril 1930 1001

Clichy (Société anonyme d'Eclairage électrique du Secteur de la place —). — Assemblée générale ordinaire du 2 avril 1930 874

Delle (Ateliers de Constructions électriques de —). — Assemblée générale ordinaire du 27 février 1930. 917

Eclairage et de Transport de Force par l'Electricité (Compagnie centrale d' —) (Compagnie d'Electricité de Limoges). — Assemblée générale ordinaire du 10 avril 1930 958

Eclairage par le Gaz et l'Electricité (Société roubaisienne d'—). — Assemblée générale ordinaire du 25 avril 1930 1002

Electrification industrielle (L'—). — Assemblée générale ordinaire du 16 avril 1930..... 873

Electro-Câble (Société —). — Assemblée générale ordinaire du 27 novembre 1929..... 190

Energie électrique (Société industrielle d' —). — Assemblée générale ordinaire du 18 décembre 1929 270

Entreprises (Société générale d'—). — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1929 153

Equipement électrique des Véhicules (Société anonyme pour l'—). — Assemblée générale ordinaire du 21 janvier 1930) 758

Exploitations électriques (Les —). — Assemblée générale ordinaire du 18 décembre 1929..... 675

Fabrication (Compagnie pour la — des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz. — Assemblée générale ordinaire du 4 juillet 1929..... 430

Fier (Société des Forces du —). — Assemblées générales extraordinaires des 19 juillet 1928 et 9 avril 1929 et assemblée ordinaire du 9 avril 1929. 303

Force et Lumière (Société artésienne de —). — Assemblée générale ordinaire du 6 novembre 1929. 472

Force et Lumière (Société biterroise de —). — Assemblée générale ordinaire du 3 mai 1930..... 1048

Force et Lumière (Société générale de —). — Assemblée générale ordinaire du 18 décembre 1929. 153

Grammont et de Alexandre Grammont (Etablissements industriels de E.-C. —). — Assemblée générale ordinaire du 27 octobre 1929..... 349

Indochine (Compagnie des Eaux et d'Electricité de l'—). — Assemblée générale ordinaire du 4 décembre 1929 304

Industrie électrique (Société centrale pour l'—). —Assemblée générale ordinaire du 3 mars 1930.. 637

Loire et du Centre (Compagnie électrique de la —). —Assemblée générale ordinaire du 29 novembre 1929 470

Maroc (Energie électrique du —). — Assemblée générale ordinaire du 9 avril 1930..... 957

Marseille (Société du Gaz et de l'Electricité de —). — Assemblée générale du 7 avril 1930 833

Nord (Electricité et Gaz du —). — Assemblée générale ordinaire du 5 décembre 1929..... 35

Omnium lyonnais. — Assemblée générale ordinaire du 23 novembre 1929..... 111

Paris et du Rhône (Société de —). — Assemblée générale ordinaire du 28 novembre 1929..... 598

Radioélectrique (Société française —). — Assemblée générale ordinaire du 26 novembre 1929..... 189

Revue générale de l'Electricité. — Assemblée générale ordinaire du 5 mai 1930 1047

Téléphones (Société industrielle des —). — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1929.... 269

Travaux d'Eclairage et de Force (Compagnie générale de —) (Anciens Etablissements Clémançon). — Assemblée générale ordinaire du 8 avril 1930. 918

Union électrique (L'—). — Assemblée générale ordinaire du 23 décembre 1929 558

NOTES ET INFORMATIONS PERSONNELLES

Nécrologies : A. Remaury..... 121
Auguste Rateau 275
Guido Semenza 315
Gustave Naville 474

Adrien Palaz 602
M. Merker 641

Distinctions honorifiques. — Nomination de M. Paré au grade de chevalier de la Légion d'honneur 433
Nomination et promotions dans l'Ordre national de la Légion d'honneur : au grade d'officier, MM. Guilbert (Cyrille) et Monteil; au grade de chevalier : M. de Broglie (Louis-Victor) 602
Remise de la médaille Mascart à M. Paul Janet.. 721
Election de M. Jean Rey, comme membre de l'Académie des Sciences 1009
Les lauréats de l'Académie des Sciences 54

Enseignement, Documentation, Bibliographie

DOCUMENTATION

Le service de documentation de la Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques Alais, Froges et Camargue (*L. Baget*) 593
Le service de documentation de la Société française des Electriciens 635

BIBLIOGRAPHIE

Annuaires. Agendas. — Annuaire 1929-1930 du Syndicat général de la Construction électrique.. 162
Annuaire 1930 de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques 1010
Annuaire 1929-1930 de la Houille blanche française et des Forces naturelles mondiales 683
Agenda Dunod 1930 (Electricité), par *L.-D. Fourcault* 644
Agenda Dunod, 1930 (Construction mécanique), par *J. Izart* 122
Agenda Béranger 1930 316

Ouvrages récents. — Electricité et Magnétisme. — Cours d'électricité générale de l'Ecole navale, par *E. Haudié* 683
Cours d'électricité, par *M. Veaux* 44
Elettrotecnica (Electrotechnique), par *L. Donati* et *G. Sartori* 962
Electrodinamica industrial. Teoria de los campos electromagneticos (Electrodynamique industrielle. Théorie du champ électromagnétique), par *José-A. Pérez del Pulgar* 884
Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik (Abrégé d'électrotechnique), par *Adolf Thomälen* 42
Einführung in die Komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif), par *Ludwig Casper* 4
La décharge électrique dans le vide et dans les gaz, par *Maurice Leblanc* 642
Les rayons X (Théorie et applications), par *Jean Thibaud* 884
Sur l'ionisation et quelques-unes de ses applications techniques, par *M.-M. Sitnikov* 643

Mathématiques. — Pour comprendre la trigonométrie, par *Georges Durand* 842
Leçons sur les systèmes d'équations aux dérivés partielles, par *Maurice Janet* 316
La balance à calcul, par *Stanislas Millot* 393

Mécanique. — Eléments de mécanique rationnelle, par *Percey-F. Smith* et *William-Raymond Longley* 354
La nouvelle mécanique des quanta, par *George Birtwistle*, traduit par *M. Ponte* et *Y. Rocard*, préface de *J. Hadamard* 3
Les nouvelles méthodes en analyse quantique (Mécanique quantique, Mécanique ondulatoire), par *Julien Pacotte* 276
Structure de l'atome, tourbillon d'éther et pensées scientifiques indépendantes, par *L. Cugnin* .. 43
Newton, Maupertuis et Einstein : Réflexions à propos de la relativité, par *F. Prunier* 43
Chaleur. — La transmission de la chaleur, par *M. Ten Bosch* 522
Note sur les connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau, par *M.-D. Sochaezewer* 433
Acoustique. — Introduction à une connaissance scientifique des faits musicaux, par *Pius Servien* 474
Chimie. — Histoire de l'enseignement de la chimie en France, par *René Sordes* 4
Industrie électrique. — Design of electrical apparatus (L'étude des appareils électriques), par *John-H. Kulhlmann* 802
Elektrobetrieb in der Textilindustrie (Applications de l'électricité à l'industrie textile), par *Wilhelm Stiel* 684
Les courants alternatifs industriels et leurs applications, par *Roland Berger* 562
La houille blanche, par *Henri Cavailles* 474
Niagara power (La puissance du Niagara), par *E.-D. Adams* 274
Carte de France (Usines génératrices, réseaux de distribution, lignes de transmission), par la *Société financière électrique* 82
Compte rendu de la session de 1929 de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute tension 883
High voltage cables (Les câbles à haute tension), par *L. Emanueli* 162
Schaltanlagen für Drehstrom-Kraftwerke (Installations des postes de manœuvre, de réglage et de contrôle des usines génératrices à courant triphasé), par *Johann Waltjien* 604
Der Erdschluss und seine Bekämpfung (La mise à la terre accidentelle et la protection contre ces défauts), par *G. Oberdorfer* 643
L'électricité à la maison, par *E. Marec* 194
Kompensierte und synchronisierte Asynchronmotoren (Moteurs asynchrones compensés et synchronisés), par *H.-F. Schait* 644
Die asynchronen Wechselfeld Motoren; Kommutator und Induktions Motoren (Les moteurs asynchrones à champ alternatif; moteurs à collecteur et d'induction), par *Gustav Benischke* 682
Le système de télégraphie Baudot et ses applications, par *P. Mercy* 434
Installations téléphoniques (Guide pratique), par *R. Parésy* 683
Telegraphy and telephony including wireless communications (Télégraphie et téléphonie y compris les radiocommunications), par *E. Mallett* 82
A la conquête des ondes. La T. S. F., par *Paul Brenot* 276
Guide pratique de l'amateur radiophoniste, par *Jean Defontaine* 122
La soudure électrique à l'arc et ses applications, par *Maurice Lebrun* 682

Electric Street lighting (Eclairage électrique des rues) 122
Code for electricity meters (Manuel pour l'emploi des compteurs électriques) 234
Comptage de l'énergie électrique en courants alternatifs, par *J. Tartinville* 698
Wechselstrom Leistungsmessungen (Mesure des puissances en courant alternatif), par *Werner Skirl.* 522

Economie industrielle. — L'électricité en Alsace et en Lorraine. Etude économique et juridique, par *Marcel Klein* 722
Le calcul des prix de revient dans l'industrie, par *André Blandin* 802
Les services de l'entreprise, par un groupe de techniciens sous la direction de *Gaston Ravisse* 354
Comment on organise une affaire commerciale, par *P. Savary* 602
Les sociétés à responsabilité limitée; leur régime fiscal, par *Jeanne Carlot* 722
La réévaluation des bilans au point de vue fiscal, par *Roger Lefebvre* et *Jacques Lefebvre* 562

Guide de l'ingénieur techno-comptable, par *Léon Melot* 394

Législation. — Législation des distributions d'énergie électrique et des forces hydrauliques. La vente de l'énergie électrique, par *P. Ailleret* 762
La distribution de l'électricité. Droits et obligations des municipalités, des groupements agricoles et des particuliers, par *Ch. Blaevoet* 82

Divers. — Livre d'or des connaissances utiles (Arts et métiers), par *Marcel Bourdais* 922
Formulaire pratique du bâtiment, par *René Champly* 602
Comment on devient fraiseur, par *René Champly* .. 44
Guide de l'ajusteur, par *Jules Merlot* et *J. Donnay* 234
Essais, réglage et mise au point des moteurs d'automobiles et d'aviation, par *René Bardin* 682
Les produits réfractaires, par *Robert Leduc* 394

Errata de la R. G. E. — A propos de la comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif (errata de la page 298)..... 602

Législation, Réglementation, Jurisprudence

LEGISLATION GENERALE

Loi du 16 avril 1930 portant fixation du budget général pour l'exercice 1930-1931 797
La recevabilité du recours pour excès de pouvoir entre dans une nouvelle phase (Arrêt du Conseil d'Etat du 10 janvier 1930) (*Paul Bougault*) 389
Les frais d'une émission d'actions avec prime sont déductibles des bénéfices de l'exercice pour arriver au bénéfice taxable (Arrêt du Conseil d'Etat du 20 décembre 1929) (*Paul Bougault*) 431
Les consommateurs mécontents. La légalité de leurs associations. (Arrêt de la Cour de Cassation du 25 novembre 1929) (*Paul Bougault*) 835

LEGISLATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Distribution de l'énergie électrique. — Législation des distributions d'énergie électrique et des forces hydrauliques. La vente de l'énergie électrique, par *P. Ailleret* (Bibliographie) 762
Le pouvoir concédant des départements en matière de distribution d'énergie électrique (*Ch. Blaevoet*) 1003
L'absence de l'approbation supérieure requise pour les concessions et la responsabilité des communes (Arrêts du Conseil d'Etat du 27 mars et du 30 avril 1930) (*Paul Bougault*) 875
Brûlure survenue à un enfant. Question de la responsabilité (Arrêt de la Cour de Cassation du 23 décembre 1929) (*Paul Bougault*) 759
Usines fondées en titre et droit d'éviction (*Achille Mestre*) 919
Les transformateurs d'énergie électrique et la contribution foncière (Arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier, du 27 novembre 1929) (*Louis Remaury*) 517

Propriété industrielle. — La troisième phase de la réforme de la loi du 5 juillet 1844 sur les brevets d'invention (*Fernand-Jacq*) 71

TEXTES OFFICIELS

Projet de loi. — Projet de loi concernant les maladies d'origine professionnelle 1008

Lois. — Loi du 15 janvier 1930 abrogeant le paraphe et le visa annuels du livre journal et du livre des inventaires prescrits par l'article 10 du Code de Commerce 391
Loi du 16 avril 1930 portant fixation du budget général pour l'exercice 1930-1931 797
Loi du 1er mai 1930 modifiant la loi du 22 novembre 1913 sur le régime des sociétés 1007

Décrets. — Décret du 16 novembre 1929 abrogeant et remplaçant le décret du 19 février 1927 relatif à la déclaration obligatoire des maladies d'origine professionnelle par application de l'article 12 de la loi du 25 octobre 1919 en vue de l'extension éventuelle de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail 119
Décret du 7 février 1930 modifiant le décret du 9 juin 1928 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 25 avril 1924 sur l'emploi obligatoire des mutilés de guerre 519
Décret du 17 février 1930, portant règlement d'administration publique pour l'application des articles 1er à 9 et 13 à 17 du décret du 28 décembre 1926 sur les régies municipales et la participation des communes à des entreprises privées .. 520

Arrêtés. — Arrêté du 20 novembre 1929 modifiant l'arrêté du 30 avril 1927 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique 73
Arrêté du 25 mars 1930 relatif à l'usage de la soudure autogène dans la construction et la réparation des appareils à vapeur 639
Note additionnelle à l'arrêté du 25 mars 1930 sur quelques précautions à prendre dans chacun des procédés de soudure autogène 640
Arrêté du 19 mai 1930 nommant des membres du Comité supérieur de Normalisation..... 1008

Circulaires. — Circulaire du 20 janvier 1930 relative à l'application de l'article 18 du décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur 306
Circulaire du 25 mars 1930 portant notification d'un arrêté relatif à l'usage de la soudure autogène dans la construction et la réparation des appareils à vapeur 677

JURISPRUDENCE

Conseils des Prud'hommes. — Jugement du Conseil des Prud'hommes du Canton de Belfort rela-

tif à la rupture du contrat de travail par la « grève des bras croisés » 879

Cours d'appel. — Arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 10 décembre 1929 concernant le droit de poursuite en contrefaçon d'un brevet d'invention 559

Cour de Cassation. — Arrêt du 18 novembre 1929 concernant la législation sur les accidents du travail 392

Arrêt du 19 novembre 1929 concernant le délai-congé 351

Arrêt du 25 novembre 1929, concernant la légalité des associations de consommateurs (*Paul Bougault*) 835

Arrêt du 26 novembre 1929 relatif à la propriété d'une marque de fabrique étrangère utilisée pendant la guerre par une maison française 351

Arrêt du 2 décembre 1929 relatif à la détermination de l'indemnité due à un ouvrier victime d'un accident du travail et déjà pensionné pour accident antérieur analogue 559

Arrêt du 3 décembre 1929 concernant le versement des indemnités dues pour accidents du travail .. 391

Arrêt du 23 décembre 1929 concernant une brûlure survenue à un enfant. La responsabilité de l'accident (*Paul Bougault*) 759

Arrêt du 6 janvier 1930 sur l'action possessoire et le droit de faire enlever les fils placés illégalement (*Paul Bougault*) 717

Arrêt du 3 mars 1930 concernant les impôts frappant les primes d'émission d'actions 719

Conseils de préfecture. — Arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier, du 27 novembre 1929, concernant les transformateurs d'énergie électrique et la contribution foncière (*Louis Remaury*) 517

Conseil d'Etat. — Arrêt du 5 juillet 1929, concernant les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire (*A. Remaury*) 87

Arrêt du 18 octobre 1929, relatif aux charges extracontractuelles nées de la guerre 118

Arrêt du 29 novembre 1929 concernant un traité de concession intervenu entre la loi du 15 juin 1906 et le premier type du cahier des charges et dont l'approbation préfectorale est postérieure au 17 mai 1908 (*Paul Bougault*) 155

Arrêt du 6 décembre 1929 stipulant que les kiosques à journaux ne sont pas imposables à la contribution foncière 520

Arrêt du 20 décembre 1929 stipulant que les frais d'une émission d'action avec prime sont déductibles des bénéfices de l'exercice pour arriver au bénéfice taxable (*Paul Bougault*) 431

Arrêt du 27 décembre 1929 concernant le relèvement des tarifs de concession et les instances en indemnité pour charges extracontractuelles (*Paul Bougault*) 191

Arrêt du 27 décembre 1929 concernant le point de départ des charges extracontractuelles d'un concessionnaire de l'éclairage d'une commune..... 599

Arrêt du 10 janvier 1930 relatif à la recevabilité du recours pour excès de pouvoir (*Paul Bougault*) 389

Arrêts du 27 mars et du 30 avril 1930 concernant l'absence de l'approbation supérieure requise pour les concessions et la responsabilité des communes (*Paul Bougault*) 875

INTERPRETATION DES TEXTES OFFICIELS

Questions et réponses (Chambre et Sénat). — Sur les droits d'expropriation que confère aux compagnies ferroviaires la concession d'usines ou de lignes électriques 40

Sur la non-obligation pour les distributeurs d'énergie électrique de percevoir eux-mêmes les taxes municipales sur l'électricité 600

Sur les instructions ministérielles concernant l'application des règles de la brochure 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité. 520

Sur l'interdiction de l'emploi des supports en bois dans l'établissement des lignes électriques comportant des conducteurs de catégories différentes 800

Sur l'obligation pour les entreprises de maintenir en bon état de fonctionnement les compteurs électriques pour lesquels elles perçoivent une redevance d'entretien 159

Sur le droit qu'ont les locataires d'effectuer des installations électriques dans les lieux loués 392

Sur la possibilité qu'ont les maires des communes devant être traversées par une ligne de transmission d'énergie de prendre connaissance du projet d'exécution 159

Sur la possibilité qu'ont les propriétaires intéressés de se substituer à la commune pour l'électrification des campagnes 272

Sur l'application de l'article 16 du cahier des charges des entreprises de distribution d'énergie électrique dans les campagnes 560

Sur la possibilité d'obtenir des subventions pour l'électrification des fermes isolées 560

Sur les prestations en nature et l'électrification des campagnes 600

Sur les conditions imposées pour l'octroi de subventions en vue de la construction de lignes électriques destinées à alimenter des écarts ruraux. 119

Sur les droits de patente appliqués aux entreprises d'électrification rurale 80

Sur l'imposition à la contribution des patentes des entreprises d'électrification rurale 880

Sur le régime administratif de la radiodiffusion.. 352

Sur les droits qu'ont les entrepreneurs étrangers de travailler pour les administrations publiques 352

Sur la propriété des arbres plantés sur les talus ou les fossés des routes départementales ou communales 120

Sur l'assujettissement à la vérification des poids et mesures 40

Sur le taux de l'amortissement des maisons ouvrières construites par les patrons admis au point de vue fiscal 160

Sur les règlements concernant l'embauchage des ouvriers étrangers en rupture de contrat de travail 159

Sur les conditions dans lesquelles est autorisée l'introduction de la main-d'œuvre étrangère 720

Sur l'application de la loi relative à l'emploi obligatoire des mutilés de guerre 799

Sur les formalités relatives à la transmission des contrats d'apprentissage aux conseils des prud'hommes 840

Sur l'appréciation de la qualité d'artisan 900

Sur la législation relative à l'artisanat 599

Sur la législation relative à l'organisation du crédit aux sociétés coopératives d'artisans 312

Sur l'application de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières 799

Sur la législation des retraites ouvrières et des assurances sociales 559

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales 38, 79, 271, 720

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux personnes n'effectuant qu'occasionnellement un travail salarié 272

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux ouvriers étrangers saisonniers 272
Sur l'application de la législation des assurances sociales aux ouvriers et employés détachés en Alsace et en Lorraine 160
Sur la situation des caisses de secours mutuels au point de vue des assurances sociales 120
Sur les droits que possèdent les commissaires aux comptes des sociétés anonymes en vue de la vérification de ces comptes 120
Sur l'impôt frappant le revenu des actions reçues par une société en rémunération d'apports faits à une autre société 80
Sur l'impôt frappant les plus-values des valeurs mobilières possédées par une société 80
Sur l'application de la taxe de transmission aux actions d'apport nominatives 39
Sur la taxe à laquelle sont soumises les cessions de parts lors de la transformation d'une société en nom collectif en société à responsabilité limitée. 352
Sur l'application de la réduction du droit de timbre sur les valeurs mobilières prévue par la loi du 29 décembre 1929 839
Sur le droit des agents de l'enregistrement de pénétrer dans les lieux publics en vue de la perception de la taxe sur les affiches lumineuses 640
Sur le droit de l'administration d'établir une imposition complémentaire pour insuffisance de taxation sur les bénéfices commerciaux 840
Sur les exonérations fiscales dont bénéficient les sociétés anonymes à participation ouvrière 600
Sur le mode d'imposition applicable aux gérants des sociétés à responsabilité limitée 392
Sur la situation, au point de vue fiscal, des courtiers de publicité 840
Sur l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'une société anonyme ayant des succursales à l'étranger 39
Sur le calcul de la taxe sur le chiffre d'affaires.. 800
Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires à la totalité du versement de l'acheteur 119
Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires au loyer d'une usine louée par un gérant d'une société à responsabilité limitée à ladite société.. 840
Sur la déclaration des bénéfices que doit faire une société lors de sa dissolution 40
Sur l'impossibilité pour un inventeur de déduire de ses revenus, en vue de ses impôts, les dépenses qu'il a effectuées pour réaliser son invention 160
Sur les conditions dans lesquelles les pertes d'exploitation peuvent être déduites d'un bénéfice ultérieur 799
Sur la possibilité de constituer une réserve pour risque d'incendie déductible du bénéfice servant de base à l'impôt 640
Sur les bases d'établissement de la contribution des patentes 1008
Sur l'imposition à la contribution des patentes des entrepreneurs d'électrification rurale 720
Sur le dégrèvement des impôts fonciers relatifs à une usine en chômage 840

RÉPERTOIRE GÉOGRAPHIQUE

Afrique du Sud. — Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud (*B. Fleck*).. 109
Algérie. — La nouvelle station de radiodiffusion d'Alger (*Michel Adam*) 371
Allemagne. — Nouvellles installations de balisage lumineux de la ligne aérienne Berlin-Schkeuditz (*H. Walter*) 556
CHARLOTTENBOURG. — Installation d'accumulateurs de vapeur Ruths de l'usine génératrice de Charlottenbourg (*P. Marchand*) 590
HAMBOURG. — Installation d'accumulateurs de vapeur Ruths de l'usine génératrice du chemin de fer souterrain de Hambourg (*P. Marchand*).... 588
Belgique. — Les nouvelles installations de balisage lumineux de la ligne aérienne Bruxelles-Ostende (*H. Walter*) 556
Etats-Unis d'Amérique. — Niagara power (La puissance du Niagara) *E.-D. Adams* (Bibliographie) 274
Electrification d'une importante mine d'or aux Etats-Unis (*J.-F. Wiggert*) 147
LOCKPORT. — Installation de 40 000 kilowatts de groupes convertisseurs de fréquence à rapport variable (*E.-S. Bundy, A. van Niekerk* et *W.-H. Rodgers*) 634
ROCKY-RIVER. — L'usine hydroélectrique et d'accumulation par pompage 756
France. — Commentaires sur les statistiques de la production et de la distribution de l'énergie électrique en France en 1927 (*E. Genissieu*) .. 543
Le nouveau câble téléphonique Paris-Bordeaux (*M. Garreau*) 633
CAEN. — Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest (*P. Combe* et *H. Lajus*) 173, 177
ISSY-LES-MOULINEAUX. — Usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité (*L. Vellard*) 819
Les récents travaux d'extension de l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité 908, 947, 991, 1025
PARIS. — L'éclairage de la scène du théâtre du Châtelet (*A. Curchod*) 621
SAINT-OUEN. — Usine génératrice de Saint-Ouen de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité (*L. Vellard*) 776
STRASBOURG. — La station de radiodiffusion de Strasbourg-Brumath (*Michel Adam*) 379
Grande-Bretagne. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer de Grande-Bretagne (*Roger Smith*) 921
Roumanie. — L'électrification en Roumanie (*G.-M. Blank* et *Dorin Pavel*) 659
Suède. — MALMOË. — Installation d'accumulateurs de vapeur Ruths de l'usine génératrice de Malmoë (*P. Marchand*) 588
Suisse. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Suisse (*Huber-Stockar*) 761

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

ABADIE (J.-B.-J.-M.). — Lampes à gaz rares à basse tension 731
— Progrès et derniers perfectionnements apportés aux tubes luminescents et à leurs applications.. 921

ADAM (Michel). — Les nouvelles stations de radiodiffusion françaises d'Alger et de Strasbourg-Brumath 371

ADAMS (E.-D.). — Niagara power (La puissance du Niagara) (Bibliographie) 274

AILLERET (P.). — Législation des distributions d'énergie électrique et des forces hydrauliques. La vente de l'énergie électrique (Bibliographie). 762

ALEXANDER (P.-P.). — L'étude calorimétrique de l'arc 944

ALGER (Philip-L.), FREIBURGHOUSE (E.-H.) et CHASE (D.-D.). — Enroulements doublés pour turbo-alternateurs 1034

ALLEN (Miss). — Pertes d'énergie des électrons qui ont traversé des feuilles minces 286

ALLSOP (G.). — Pression développée par la fusion de fusibles ou l'établissement d'arcs en vase clos.. 28

ANDROUIN (J.). — Normalisation des engrenages .. 184

ANGUS (R.-H.). — L'amorçage à 60 périodes par seconde aux longues chaînes d'isolateurs suspendus. 110

ARDENNE (Manfred VON). — L'amplificateur apériodique dans la technique des mesures..... 249

AUDEVILLE (D'). — Les stations centrales et les sous-stations automatiques 41

AUDUBERT (René). — La technique des huiles isolantes 101

AURIC (A.). — A propos des quadripôles et filtres. 354

BAGET (L.). — Le service de documentation de la Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques Alais, Froges et Camargue 593

BALLAY (Marcel). — Les dépôts électrolytiques sur l'aluminium et ses alliages 484

BARBILLION (L.). — Le problème de la régulation des groupes électrogènes en parallèle au cours d'une perturbation 575
— Le problème de la régulation des groupes électrogènes en parallèle au cours d'une perturbation .. 623

BARDIN (René). — Essais, réglage et mise au point des moteurs d'automobiles et d'aviation (Bibliographie) 682

BARTON — Production de rayons X par des protons 486

BAUGHN (Earl). — Voir *Gamble (Lester-R.)* et *Baughn (Earl)* 673

BAYARD (M.). — La qualité du synchronisme dans l'appareil Baudot et ses conséquences au point de vue de la vitesse de transmision 12

BECKER (Joseph-A.). — Sur les phénomènes manifestés par les filaments recouverts d'oxydes.... 247

BELIN (A.). — La fusion de l'aluminium au four électrique 591

BELLESCIZE (H. DE). — Relais fonctionnant à l'équilibre indifférent 857, 899

BENISCHKE (Gustav). — Die asynchronen Wechselfeld Motoren; Kommutator und Induktions Motoren (Les moteurs asynchrones à champ alternatif; moteurs à collecteur et d'induction) (Bibliographie) 682

BERGER (Roland). — Les courants alternatifs industriels et leurs applications (Bibliographie).... 562

BERTIN (G.-E.). — Le développement de l'orientation professionnelle 33

BIERMANSS (J.). — Interrupteurs sans huile pour de très grandes puissances 262, 882

BIRTWISTLE (George). — La nouvelle méthode des quanta, préface de *J. Hadamard* (Bibliographie) 3

BLAEVOET (Ch.). — La distribution de l'électricité. Droits et obligations des municipalités, des groupements agricoles et des particuliers (Bibliographie) 82
— Le pouvoir concédant des départements en matière de distribution d'énergie électrique..... 1002

BLANDIN (André). — Le calcul des prix de revient dans l'industrie (Bibliographie). 802

BLANK (G.-M.) et PAVEL (Dorin). — L'électrification en Roumanie 659

BLOCH (Léon). — La résistance électrique des métaux dans le champ magnétique 851

BLONDEL (A.). — Sur les diagrammes d'alternateurs accouplés 885, 935, 968, 1011

BOECKNER (C.). — Voir *Mohler (F.-L.)* et *Boeckner (C.)* 140

BOEHNE (E.-W.). — Calcul des surtensions dues aux ondes mobiles avec application spéciale aux bobines d'inductance 696

BOUGAULT (Paul). — Traité de concession intervenu entre la loi du 15 juin 1906 et le premier type du cahier des charges. Approbation préfectorale postérieure au 17 mai 1908. (Arrêt du Conseil d'Etat du 29 novembre 1929) 155
— Le relèvement des tarifs de concession et les instances en indemnité pour charges extracon-

tractuelles (Arrêt du Conseil d'Etat du 27 décembre 1929) 191
— La recevabilité du recours pour excès de pouvoir entre dans une nouvelle phase (Arrêt du Conseil d'Etat du 10 janvier 1930) 389
— Les frais d'une émission d'actions avec prime sont déductibles des bénéfices de l'exercice pour arriver au bénéfice taxable (Arrêt du Conseil d'Etat du 20 décembre 1929) 481
— L'action possessoire et le droit de faire enlever les fils placés illégalement (Arrêt de la Cour de Cassation du 6 janvier 1930) 717
— Brûlure survenue à un enfant. Question de la responsabilité (Arrêt de la Cour de Cassation du 23 décembre 1929) 759
— Les consommateurs mécontents. La légalité de leurs associations (Arrêt de la Cour de Cassation du 25 novembre 1929) 835
— L'absence de l'approbation supérieure requise pour les concessions et la responsabilité des communes (Arrêts du Conseil d'Etat du 27 mars et du 30 avril 1930) 875

Bourdais (Marcel). — Livre d'or des connaissances utiles (Arts et métiers) (Bibliographie) 922

Bourseire (M.). — A propos de la traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer 841

Boutaric (Augustin) et Roy (Madeleine). — Sur la radioactivité de divers métaux provenant de toitures anciennes 410

Bozorth (R.-M.). — L'effet Barkhausen dans le fer, le nickel et le permalloy : Mesure des changements discontinus de l'intensité d'aimantation 287

Braguine (S.-M.). — La théorie de l'absorption et les pertes dans les diélectriques 56

Branchu (P.). — Nouvelles contributions expérimentales à l'étude d'un disjoncteur limiteur ultrarapide 217

Breit (G.), Tuve (M.-A.) et Dahl (O.). — La production et l'utilisation au laboratoire des potentiels très élevés 573

Breit (G.). — Voir *Tuve (M.-A.)*, *Breit (G.)* et *Hafstad (L.-R.)* 870

Brenot (Paul). — A la conquête des ondes. La T. S. F. (Bibliographie) 276

Bridgman (P.-W.). — Considérations sur l'émission d'électrons par les conducteurs soumis à des champs intenses 210

Brillié (Jean). — Progrès récents réalisés dans les nouveaux procédés de soudure électrique .. 787

Broglie (Louis de). — Ondes et corpuscules dans la physique moderne 161
— Son œuvre, par *A. Dauvillier* 435
— Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 602

Brown (S.-G.). — Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné 10

Bruges (W.-E.). — Une méthode d'étalonnage des transformateurs de courant 464

Brylinski (E.). — A propos de la mise à la terre du neutre dans le réseaux triphasés à basse tension 2

Bundy (E.-S.), Niekerk (A. van), Rodgers (W.-H.). — Une installation de 40 000 kilowatts de groupes convertisseurs de fréquence à rapport variable 684

Bunet (P.). — Effet des conditions de la surface et notamment de la peinture sur l'échauffement des transformateurs 552

Burin des Roziers (G.). — Comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif en basse tension 115/200 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé 296
— A propos de la comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif. Errata 602

Campbell (J.-R.). — Voir *Race (H.-H.)* et *Campbell (J.-R.)* 330

Carlot (Jeanne). — Les sociétés à responsabilité limitée; leur régime fiscal (Bibliographie) 722

Casper (Ludwig). — Einführung in die Komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif) (Bibliographie) 4

Cauwenberghe (R. Van) et Marchal (G.). — L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions 331

Cavailles (Henri). — La houille blanche (Bibliographie) 474

Champly (René). — Comment on devient fraiseur (Bibliographie) 44
— Formulaire pratique du bâtiment (Bibliographie) 602

Chase (D.-D.). — Voir *Alger (Philip-L.)*, *Freiburghouse (E.-H.)* et *Chase (D.-D.)* 1034

Chiodi (C.). — Contribution à la mesure de l'angle de pertes des diélectriques en fonction de la fréquence 815

Christison (Frances). — Voir *Forsythe (W.-E.)* et *Christison (Frances)* 448

Churcher (B.-G.). — Les propriétés des tôles magnétiques 369

Churcher (B.-A.-G.) et King (A.-J.). — Analyse et mesure du bruit émis par les machines 342

Cobden-Turner (H). — Voir *Engelhardt (A.)* et *Cobden-Turner (H.)* 109

Collins (T.-R.-D.). — Voir *Fagan (H.-D.)* et *Collins (T.-R.-D.)* 855

Combe (P.). — Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest 173

Conti (Mario). — Variation de la force électromotrice de l'élément Latimer-Clark sous l'influence des radiations ultraviolettes et des rayons X.. 166

Corsi (A.). — L'effet Raman et la théorie de la lumière 773

Costes (Henri). — Calcul des flèches de conducteurs aériens dans le cas de très grandes portées 83
— Calcul des longueurs des pendules des lignes caténaires souples 723, 767

Cramp (W.). — Compensateurs de phase du type Scherbius 106

Cugnin (L.). — Structure de l'atome, tourbillon d'éther et pensées scientifiques indépendantes (Bibliographie) 43

CURCHOD (A.). — Les nouveaux procédés d'éclairage au théâtre 615

CUVELETTE (E.). — L'évolution économique et sociale de l'industrie houillère depuis 1914 223

DAHL (O.). — Voir *Breit (G.)*, *Tuve (M.-A.)* et *Dahl (O.)*. 573

DARRIEUS (G). — Remarques au sujet de l'autoamorçage 284
— Définition du rendement thermodynamique des turbines à vapeur 962

DARROW (Karl-K.). — Progrès contemporains en physique : la fusion des théories corpusculaires et ondulatoires 976

DAUVILLIER (A.). — L'œuvre de M. Louis de Broglie 435
— Recherches sur l'émission des rayons X se produisant à la cathode de certains tubes à vide..... 809

DAVISSON (C.-J.). — Ondes électroniques 170

DECAUX (B.). — Les lampes à plusieurs grilles. 523

DÉCOMBE (L.). — Théorie ondulatoire et rayonnement noir 485

DEFONTAINE (Jean). — Guide pratique de l'amateur radiophoniste (Bibliographie) 122

DÉJARDIN (G.). — Nouveau procédé de préparation des cathodes à oxydes 541

DELANGE (G.). — Les véhicules électriques à accumulateurs; les camions de la Société des Véhicules électriques industriels 31

DENINA (E.). — Modification du pont de Kohlrausch pour la mesure des résistances en courant alternatif 737

DETTMAR (G.). — Les applications en électrotechnique de l'acier revêtu de cuivre 554

DEVAUX (Henri). — Les lames très minces et leurs propriétés physiques 841

DIAMOND (H.). — L'application aux routes aériennes des alignements radioélectriques à double modulation et observation visuelle..... 632

DONATI (L.) et SARTORI (G.). — Elettrotecnica (Electrotechnique) (Bibliographie) 962

DONNAY (J.). — Voir *Merlot (Jules)* et *Donnay (J.)* 234

DOOLITTLE (F.-B.). — Voir *Stauffacher (E.-R.)* et *Doolittle (F.-B.)* 955

DREYFUS (L.). — Deux nouveaux systèmes d'éclairage des trains 880

DUFFENDACH (O.-S.). — Voir *Thomas (C.-H.)* et *Duffendach (O.-S.)* 406

DURAND (Georges). — Pour comprendre la trigonométrie (Bibliographie) 842

DYER (L.-W.). — Essais d'interrupteurs à grilles « deïon » 998

ECK (Justus). — L'électricité dans l'industrie de l'imprimerie 302

EDLEFSEN (N.-E.). — Voir *Lawrence (E.-O.)* et *Edlefsen (N.-E.)* 290

EMANUELI (L.). — High voltage cabl s. (Les câbles à haute tension) (Bibliographie) 162

ENGELHARDT (A.) et COBDEN-TURNER (H.). — Les câbles téléphoniques à longue distance 109

ESCANDE (L.). — Surpression provoquée par l'arrêt d'un groupe moto-pompe dans la conduite de refoulement 608

FAGAN (H.-D.) et COLLINS (T.-R.-D.). — Effets Peltier et Thomson présentés par les cristaux de bismuth 855

FALLOU (J.). — Surtensions dans les transformateurs : Propagation des ondes de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire 5
— Mise à la terre du point neutre par l'intermédiaire d'une inductance (Etude des régimes transitoires asymétriques succédant à l'établissement et à la rupture du court-circuit) 789

FERNAND-JACQ. — La troisième phase de la réforme de la loi du 5 juillet 1844 sur les brevets d'invention 71

FIELDER (F.-D.). — Voir *Torok (J.-J.)* et *Fielder (F.-D.)* 611

FINANCIÈRE ÉLECTRIQUE (SOCIÉTÉ). — Carte de France (Usines génératrices, réseaux de distribution, lignes de transmission) 82

FLETCHER (H.-M.). — Effet des gaz occlus et de l'humidité sur la résistance de condensateurs à air aux fréquences radioélectriques 774

FLECK (B.). — Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud 109

FORD (L.-H.). — Voir *Webb (E.-E.)* et *Ford (L.-H.)* 167

FOURCAULT (L.-D.). — Agenda Dunod 1930 (Electricité) (Bibliographie) 644

FORSYTHE (W.-E.) et CHRISTISON (Frances). — Rayonnement ultraviolet du soleil et du tungstène incandescent 448

FOSTER (W.-J.) et SAVAGE (M.-A.). — Progrès techniques réalisés dans la construction de turbogénérateurs de grande puissance 267

FREIBURGHOUSE (E.-H.). — Voir *Alger (Philip-L.)*, *Freiburghouse (E.-H.)* et *Chase (D.-D.)*..... 1034

FROGER (P.). — Transmetteurs d'ordre et indicateurs électriques à distance 796

FROIDEVAUX (J.). — De l'influence d'une excentricité de la couronne de porte-balais sur l'équidistance des lignes de balais 164

FUGILL (C.-R.). — Un exemple de réglage de la charge de deux réseaux dans des conditions anormales 794

GAMBLE (R.-Lester) et BAUGHN (Earl). — Réseau de distribution à basse tension sans équipement de protection 673

GARREAU (M.). — Le nouveau câble téléphonique Paris-Bordeaux 633

GASQUET. — Les applications de la traction électrique aux poids lourds 353

GENISSIEU (E.). — Commentaires sur les statistiques de la production et de la distribution de l'énergie électrique en France en 1927 543

GEYGER (W.). — Les méthodes de prospection électrique par le courant électrique 1000

GILLETT (J.-K.). — La structure des diélectriques et leur rupture 208

GILLETTE (R.-W.). — La commande des circuits

d'éclairage public avec lampes montées en parallèle 31

GOHOREI. — Le système de téléphonie automatique de la Compagnie des Téléphones Thomson-Houston, dit Système R6 561

GONNARD (P.). — La mesure des courants continus de forte intensité 95

GUILBERT (Cyrille). — Promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur 602

HAFSTAD (L.-R.). — Voir *Tuve (M.-A.), Breit (G.) Hafstad (L.-R.)* 370

HARNWELL (G.-P.). — Diffusion des électrons dans l'hydrogène atomique et moléculaire 92

HARRIS. — Un voltmètre électrodynamique avec suppression du zéro 614

HAUDIÉ (E.). — Cours d'électricité générale de l'Ecole navale (Bibliographie) 683

HEAPS (C.-W.) et TAYLOR (J.). — Les discontinuités d'aimantation dans le fer et le nickel 168

HELD (S.). — Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent 277, 317
— Nouveaux pyromètres optiques à radiation totale 979

HENDERSON (Malcolm-C.). — Dispersion des particules β par les gaz légers et moment magnétique de l'électron 408

HENDRICKS (A.-B.) et MAUNDER (S.-T.). — Transformateur de courant à impulsion de courant... 956

HERZFELD (K.-F.). — L'influence des conditions à la surface et des charges spatiales sur la conductivité des corps mauvais conducteurs 285
— La chaleur superficielle de charge 574

HEYLAND (A.). — Nouvelle disposition des inducteurs des machines synchrones 143

HILDEBRAND (L.-E.). — Moteurs d'induction silencieux 672

HODNETTE (J.-K.). — Effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs 68

HOWER (C.-H.). — Voir *Sawyer (C.-B.)* et *Hower (C.-H.)* 658

HOWEY (J.-H.). — Propriétés magnétiques des couches minces de nickel et de fer déposées sur supports métalliques 368

HUBER-STOCKAR (E.). — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Suisse 761

HULBURT (E.-O.). — Ions et courants dans les couches supérieures de l'atmosphère terrestre .. 250

IKEDA (Kenzo). — Voir *Niski (Takeshi)* et *Ikeda (Keizo)* 572

ILLIG (K.). — La production et les emplois du beryllium 14

IZART (J.). — Agenda Dunod 1930 (Construction mécanique) (Bibliographie) 122

JACKSON (W.). — Mesure d'une résistance en haute fréquence 612

JACOB (Ernst). — Transmission simultanée de courants triphasé et monophasé par superposition de ces courants sur lignes communes (exploitation sous double fréquence) 150

JANET (Maurice). — Leçons sur les systèmes d'équations aux dérivées partielles (Bibliographie) 316

JANET (Paul). — Remise de la médaille Mascart à M. Paul Janet 721
— A propos de la question des unités magnétiques 933

JAVARY (F.). — L'emploi des cadres dans le transport des marchandises 636

JOHNSTONE (J.-H.-L.) et WILLIAM (John-Warren). — Variation de la constante diélectrique avec la fréquence 408

JUMAU (L.) et ROLLET (A.-P.). — A propos de la théorie des accumulateurs électriques et particulièrement de l'accumulateur au plomb 563

KEINATH (G.). — Le développement de la mesure électrique à distance 265

KENNELLY (A.-E.). — Les unités du circuit magnétique 923
— A propos des quadripôles et filtres 962

KING (A.-J.). — Voir *Churcher (B.-A.-G.)* et *King (A.-J.)*. 342

KLEIN (Marcel). — L'électricité en Alsace et en Lorraine. Etude économique et juridique (Bibliographie) 722

KOMATAGA (Sakuji). — Conduction électrique d'une solution contenant un corps granulé en suspension stable 329

KONSTANTINOWSKY. — Le câble SO 151

KOPELIOWITCH (J.). — Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile 251, 291

KOTELNIKOFF (A.-K.). — Les ondes électromagnétiques dues au changement de l'impédance sur les lignes de transmission d'énergie 442

KRAMERS (H.-A.). — L'influence des forces moléculaires sur les propriétés physiques des atomes dans un réseau cristallin 841

KRAUSE (C.-E.). — Voir *Slepian (J.), Tamberg (R.)* et *Krause (C.-E.)* 541

KUCERA (Jaroslav). — Répartition des flux magnétiques dans les stators et rotors 645

KULHLMANN (John-H.). — Design of electrical apparatus (L'étude des appareils électriques) (Bibliographie) 802

KUSUNOSE (Yuziro). — Calcul des caractéristiques et des dimensions des triodes 367

KUYSER (J.-A.). — Perfectionnements récents dans la construction des turboalternateurs 706

LAJUS (H.). — Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest 177

LANGGUTH (P.-O.). — Voir *Marshall (D.-E.)* et *Langguth (P.-O.)* 382

LANGMUIR (I.). — Voir *Tonks (L.)* et *Langmuir (I.)* 169

LAWRENCE (E.-O.) et EDLEFSEN (N.-E.). — La photoionisation de la vapeur de potassium 290

LAWSON (W.). — Organes de pivotage des compteurs électriques 555

LEBLANC (Maurice). — La décharge électrique dans le vide et dans les gaz (Bibliographie) 642

— Commision internationale de l'Eclairage. Réunion du Comité de l'Eclairage pour la Navigation aérienne (Berlin 28-30 avril 1930) 803

LEBRUN (Maurice). — La soudure électrique à l'arc et ses applications (Bibliographie)..... 682

LEDOUX (Charles). — A propos des absorbeurs d'ondes 337

LEDUC (Robert). — Les produits réfractaires (Bibliographie) 394

LEFEBVRE (Jacques). — Voir *Lefebvre (Roger)* et *Lefebvre (Jacques)* 562

LEFEBVRE (Roger) et LEFEBVRE (Jacques). — La réévaluation des bilans au point de vue fiscal (Bibliographie) 562

LEMAIRE (E.). — La concentration des solutions en ions hydrogène : le P_H des solutions..... 555

LEVASSEUR (A.). — La régulation automatique des fours électriques de fonderie 665

LEWIS (Evan-Jarrett). — Quelques propriétés thermiques et électriques du béryllium 482

LISTON (John). — Progrès réalisés dans l'industrie électrique durant l'année 1929 344

LONGLEY (William-Raymond). — Voir *Smith (Percey-F.)* et *Longley (William-Raymond)*..... 354

LOUCHART (R.). — La commande des machines à papier à plusieurs moteurs avec synchronisation électrique des vitesses 211

MACEACHRON (K.-B.). — Etude du fonctionnement des bobines d'inductance sur les lignes de distribution d'énergie à l'aide de l'oscillographe.... 463

MCKINNON (K.-A.). — Sur l'origine de la décharge sans électrodes 246

MCPETRIE (J.-S.). — Voir *Smith-Rose (R.-L.)* et *McPetrie (J.-S.)* 542

MCRAE (D.-B.). — Voir *Tolman (R.-C.)* et *McRae (D.-B.)* 209

MAJORANA (Q.). — Quelques recherches sur l'absorption de la gravitation opérée par la matière.. 841

MALLETT (F.). — Telegraphy and telephony including wireless communications) (Télégraphie et téléphonie, y compris les radiocommunications) (Bibliographie) 82

MANDL (A.). — Résultats d'essais d'un compensateur synchrone de 30 000 kilovolts-ampères..... 713

MARCHAL (G.). — Voir *Cauwenberghe (R. van)* et *Marchal (G.)*. 331

MARCHAND (P.). — L'accumulateur de vapeur système Ruths 584

MAREC (E.). — L'électricité à la maison (Bibliographie) 194

MARGAND (F.). — Expression du couple électromagnétique des alternateurs et moteurs synchrones, dans l'état variable 123

MARQUART (E.) et REIMERS (H.). — Tracé des courbes utiles pour l'exploitation et le projet des voitures électriques à accumulateurs 674

MARSHALL (D.-E.) et LANGGUTH (P.-O.). — Excitation des transformateurs de courant en période transitoire 382

MARTYN (D.-E.). — Les variations de fréquence des oscillateurs à lampes 409

MASER (H.-T.). — Voir *Steiner (H.-C.)* et *Maser (H.-T.)*. 610

MASING (G.). — Les méthodes de recherche en métallographie 93

MATANO (Asataro). — Etude sur la commutatrice.. 870

MATHIEU (Marcel). — Règles à calcul et abaques pour la résolution de la formule de M. Levasseur (Calcul de la résistance des conducteurs pour toutes les fréquences du courant) 763

MATHIVET (J.). — La compensation hydraulique de la charge des usines génératrices thermiques. 419

MAUDNER (S.-T.). — Voir *Hendricks (A.-B.)* et *Maudner (S.-T.)* 956

MELOT (Léon) — Guide de l'ingénieur technocomptable (Bibliographie) 394

MERCY (P.). — Le système de télégraphie Baudot et ses applications (Bibliographie)..... 434

MERKER (M.). — Nécrologie..... 641

MERLOT (Jules) et DONNAY (J.). — Guide de l'ajusteur (Bibliographie) 234

MESERVE (W.-E.). — Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe 866

MESTRE (Achille). — Usines fondées en titre et droit d'éviction 919

METCALF (G.-F.). — Caractéristiques de fonctionnement des cellules photoélectriques 171

MEUNIER (H.). — Le réglage de la tension dans les réseaux triphasés et les transformateurs de réglage 699

MICANEL (Edgar). — Exonération de l'impôt foncier en faveur des ouvrages établis pour la distribution de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou à des syndicats de communes 305

MILES (J.-B.). — La constante diélectrique des vapeurs de quelques alcools et le moment électrique des molécules de ces alcools. 171

MILEY (H.-A.). — Voir *Pietenpol (W.-B.)* et *Miley (H.-A.)* 483

MILLE. — La traction à accumulateurs dans les mines, considérée comme un problème de rationalisation industrielle 761

MILLOT (Stanislas). — La balance à calcul 393

MOHLER (F.-L.) et BOECKNER (C.). — Photoionisation de quelques vapeurs de métaux alcalins. 140

MONTEIL. — Promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur 602

MOON (P.-H.) et NORCROSS (A.-S.). — Obtention de trois mécanismes de rupture du verre par élimination de l'effet de bords 327

MORGAN (Théodore-H.). — Compensateurs synchrones en série 268

MUHLEISEN (Otto). — Le calcul rapide des courants de courts-circuits 754

MURGOCI (R.). — Voir *Reimann (A.-L.)* et *Murgoci (R.)*. 697

NAKHMANSON (E.-E.). — Choix de la puissance des compensateurs synchrones dans les sous-stations de l' « Elektrotok » 302

NANDILLON. — Un nouveau dispositif de mesure en courant alternatif musical : le potentiomètre-phasemètre. Application à la phonométrie 284

NEISS (Oscar). — Le convertisseur de fréquence comme machine à souder par arc en courant alternatif 716

NEWBURY (Kirsten). — Effet de la lumière sur l'émission thermoionique 249

NIEKERK (A. VAN). — Voir *Bundy (E.-S.)*, *Niekerk (A. van)* et *Rodgers (W.-H.)*. 634

NISHI (Takeshi) et IKEDA (Keizo). — La production d'effluves de surface et les essais à haute tension 572

NORCROSS (A.-S.). — Voir *Moon (P.-H.)* et *Norcross (A.-S.)* 327

NOTTINGHAM (W.-B.). — Note sur l'amplificateur à grande résistance de grille 55
— Nouvelles expériences sur l'effet photoélectrique de pellicules minces de potassium et de sodium. 486
— Recherches sur l'arc électrique 486

OBERDORFER (G.). — Der Erdschluss und seine Bekämpfung (La mise à la terre accidentelle et la protection contre ces défauts) (Bibliographie).... 643

OKAMATU (M.). — Voir *Yamauti (Z.)* et *Okamatu (M.)*. 898

OST (Friedrich). — Le schéma équivalent du transformateur à trois enroulements 206

OWEN (G.-E.). — Pertes diélectriques aux fréquences élevées 289

PACOTTE (Julien). — Les nouvelles méthodes en analyse quantique (Mécanique quantique. Mécanique ondulatoire) (Bibliographie) 276

PAGE (A.). — L'accumulation d'énergie par pompage 499

PAGE (L.). — La conduction par les ions dans les champs électriques et magnétiques croisés 172

PALAZ (Adrien). — Nécrologie 608

PAPST (H.-W.). — Intensité de courant admissible dans les barres générales 29

PARÉ (Marcel). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 488

PARÉSY (R.). — Installations téléphoniques (Guide pratique) (Bibliographie) 683

PARODI (H.). — Le développement de l'électricité et l'évolution des conceptions scientifiques..... 198

PARSONS (Charles-A.) et ROSEN (J.). — Production directe de courant alternatif à tension élevée .. 751

PAULING (L.). — La photoionisation dans les liquides et les cristaux : relation entre la fréquence des arêtes d'absorption pour les rayons X et la constitution chimique 142

PAVEL (Dorin). — Voir *Blank (G.-M.)* et *Pavel (Dorin)* 659

PECHEUX (H.). — De l'éclairement moyen des espaces circulaires 848

PÉREL DEL PULGAR (José-A.). — Electrodinamica industrial Teoria de los campos electromagneticos (Electrodynamique industrielle. Théorie du champ électromagnétique) (Bibliographie)..... 884

PENNEY (G.-W.). — Le couple des machines synchrones, non munies d'enroulements amortisseurs, durant les courts-circuits 388

PESTARINI (Joseph-Maxime). — Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne. 355, 395

PFESTORF (G.). — Sur la confection des électrodes destinées aux essais de rigidité diélectrique des isolants 856

PICARD (Emile). — Un coup d'œil sur l'histoire des sciences et des théories physiques 567

PIETENPOL (W.-B.) et MILEY (H.-A.). — Résistivité et coefficient de température du plomb, de l'étain, du zinc et du bismuth à l'état solide et à l'état liquide 483

PISTOYE (H. DE). — Un nouveau moteur asynchrone compensé 15, 57
— Principe de l'excitatrice-convertisseur de fréquence de Boucherot (excitation sinusoïdale) 59
— Bobinages rotoriques d'excitation pour moteurs à quatre pôles 68

POMEY (J.-B.). — Sur le développement en série de l'impédance d'une ligne uniforme 163
— Quadripôles et filtres 235
— Equivalent de transmission 475
— Emission d'un courant télégraphique sur un câble pupinisé 605
— Le câble téléphonique pupinisé 690

PROCKOROFF (S.). — Evaluation de la charge maximum d'un réseau électrique 126
— Note complémentaire relative à l'évaluation de la charge maximum d'un réseau électrique..... 481

PROCOPIU (St.). — Recherches expérimentales sur l'effet Barkhausen 896
— Le potentiel électrocinétique des métaux et la force électromotrice de mouvement 897

PROUT (G.-R.). — Groupes moteurs-pompes électriques pour le refoulement des huiles dans les canalisations 187

PRUNIER (F.). — Newton, Maupertuis et Einstein : Réflexions à propos de la relativité (Bibliographie) 43

PUGNO-YANONI (Enzo). — Pont pour la mesure des pertes diélectriques dans les isolateurs de traversée et les condensateurs pour haute tension 657

RACE (H.-H.) et CAMPBELL (J.-R.). — Le potentiel de polarisation diélectrique et la loi de superposition dans le cas du caoutchouc dur 330

RATEAU (Auguste). — Nécrologie 275

RAWDON (H.-S.) et TUCKER (W.-A.). — L'effet des conditions d'oxydation sur les essais de corrosion électrolytique accélérée 613

REICH (H.-J.). — Voir *Verman (L.-C.)* et *Reich (H.-J.)* 188

REIMANN (A.-L.) et MURGOCI (R.). — L'émission thermoionique et la conductivité électrique des cathodes à oxydes 697

REIMERS (H.). — Voir *Marquart (E.)* et *Reimers (H.)* 674

REMAURY (A.). — Sur les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire (Arrêt du Conseil d'Etat du 5 juillet 1929) 87
— Sur les plantations d'arbres au voisinage des lignes électriques 113
— Nécrologie 121

REMAURY (Louis). — Les transformateurs d'énergie électrique et la contribution foncière (Arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier, du 27 novembre 1929) 517

REY (Jean). — Election comme membre de l'Académie des Sciences 1009

REYNOLDS (N.-B.). — L'effet Schottky et les mesures de différence de potentiel de contact faites sur les filaments de tungstène thorié 613

REYVAL (J.). — Importations et exportations françaises pendant les douze mois de l'année 1929 .. 501
— Importations et exportations françaises pendant les trois premiers mois de l'année 1930 1035
— A propos des instruments de musique radioélectriques 945

RICCIA (A. DELLA). — Réflecteur pour ondes hertziennes polarisées très courtes 87
— Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu 449, 487

RICKLI (H.). — Le degré de sécurité mécanique dans les turboalternateurs de grande puissance.. 954

RODGERS (W.-H.). — Voir *Bundy (E.-S.)*, *Niekerk (A. van)* et *Rodgers (W.-H.)*. 634

ROLLET (A.-P.). — Voir *Jumau (L.)* et *Rollet (A.-P.)*. 563

ROSEN (J.). — Voir *Parsons (Charles-A.)* et *Rosen (J.)*. 751

ROUTIN (J.-L.) — Le réglage des postes récepteurs de T. S. F. par l'emploi des dispositifs de repérage nominal « valundia »..... 26

ROY. — Redresseurs à vapeur de mercure 41, 233

ROY (Madeleine). — Voir *Boutaric (Augustin)* et *Roy (Madeleine)* 410

RUDENBERG (Reinhold). — Le fonctionnement des usines génératrices et des réseaux interconnectés 66

SAEGUSA (H.) et SHIMIZU (S.). — Sur un effet résiduel anormal relatif à la résistivité apparente des diélectriques 818

SAMUELS (M.-M.). — Une analyse critique des installations des services auxiliaires des usines génératrices à vapeur 151

SARTORI (G.). — Voir *Donati (L.)* et *Sartori (G.)*. 962

SAVAGE (M.-A.). — Voir *Foster (W.-J.)* et *Savage (M.-A.)* 267

SAVARY (P.). — Comment on organise une affaire commerciale (Bibliographie) 602

SAWYER (C.-B.) et HOWER (C.-H.). — Le sel de Seignette envisagé comme diélectrique 658

SCHAIT (H.-F.). — Kompensierte und synchronisierte Asynchronmotoren (Moteurs asynchrones compensés et synchronisés) (Bibliographie) 644

SCHIEBELER (C.). — Détermination de la puissance des moteurs électriques pour service intermittent 45

SCHMID (Walther). — Les corrosions électrolytiques dans les condenseurs 685

SCHWEITZER (P.-H.). — La production de l'énergie de pointe au moyen de groupes Diesel-génératrice 423

SCHWOB (Louis). — A propos de la transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension 883

SEMENZA (Guido). — Nécrologie 318

SERVIEN (Pius). — Introduction à une connaissance scientifique des faits musicaux (Bibliographie)... 474

SHIMIZU (S.). — Voir *Saegusa (H.)* et *Shimizu (S.)*. 818

SILVA (Jean). — Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette 195, 242

SITNIKOV (M.-M.). — Sur l'ionisation et quelques-unes de ses applications techniques (Bibliographie) 643

SKIRL (Werner). — Wechselstrom Leistungs-messungen (Mesures des puissances en courant alternatif) (Bibliographie) 522

SLEPIAN (J.), TAMBERG (R.) et KRAUSE (C.-E.). — Théorie d'un nouveau parafoudre à valve 541

SMITH (Roger). — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer de Grande-Bretagne..... 921

SMITH (Percey-F.) et LONGLEY (William-Raymond). — Eléments de mécanique rationnelle (Bibliographie) 354

SMITH-ROSE (R.-L.) et MCPETRIE (J.-S.). — Appareils transmetteurs et récepteurs pour expériences sur ondes ultra-courtes 542

SOCHACZEWER (M.-D.). — Note sur les connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau (Bibliographie) 433

SORDES (René). — Histoire de l'enseignement de la chimie en France (Bibliographie) 4

SOULIER (A.). — Films sonores et films parlants.. 221

STAUFFACHER (E.-R.) et DOOLITTLE (F.-B.). — Dispositif de protection contre les défauts à la terre par courant porteur 955

STEINER (H.-C.) et MASER (H.-T.). — Tubes redresseurs à vapeur de mercure à cathode chaude 610

STIEL (Wilhelm). — Elektrobetrieb in der Textilindustrie (Applications de l'électricité à l'industrie textile) (Bibliographie) 684

SUTER (Phil.). — Moteurs destinés à des locaux contenant des mélanges gazeux hydrogénés 670

SWANN (W.-F.-G.). — Rapport sur les travaux de recherches exécutés à la Fondation Bartol de 1928 à 1929 486

TAMBERG (R.). — Voir *Slepian (J.)*, *Tamberg (R.)* et *Krause (C.-E.)* 541

TARTINVILLE (J.). — Comptage de l'énergie électrique en courants alternatifs (Bibliographie) .. 683

TAYLOR (J.). — Voir *Heaps (C.-W.)* et *Taylor (J.)*. 168

TEN BOSCH (M.). — La transmission de la chaleur (Bibliographie) 522

TERADA (Masuho). — Bobines d'inductance de mise à la terre avec noyau de fer excité par courant continu 64

THIBAUD (Jean). — Les rayons X (Théorie et applications) (Bibliographie) 884

THOMÆLEN (Adolf). — Kurzes Lehrbuch der Elektrotecknik (Abrégé d'électrotechnique) (Bibliographie) 42

THOMAS (C.-H.) et DUFFENDACH (O.-S.). — Les taches anodiques 406

THOMAS (Percy-H.). — Calculs mécaniques des lignes aériennes : méthode de Percy-H. Thomas..... 324

THOMPSON (L.-W.) et WALTON (P.-J.). — Système de régulation automatique des compensateurs synchrones 346

THOMSON (J.-J.). — Sur la relation entre la chute de potentiel cathodique, la longueur de l'espace obscur et l'intensité du courant dans la décharge électrique à travers les gaz 90
— Le spectre d'arc et le spectre d'étincelle de l'hydrogène dans l'extrême ultraviolet 328
— Oscillations électroniques 370

THÜRLEMANN (K.). — Stations de pompage à fonctionnement automatique 872

THURY (René). — La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension 411, 459

TOLMAN (R.-C.) et MCRAE (D.-B.). — Démonstration expérimentale de l'équivalence d'une charge électrostatique animée mécaniquement d'un mouvement oscillatoire à un courant alternatif. 209

TONKS (L.) et LANGMUIR (I.). — Une théorie générale du plasma d'arc 169

TOROK (J.-J.) et FIEDLER (F.-D.). — Courants d'ionisation et rupture diélectrique 611

TUCKER (W.-A.). — Voir *Rawdon (H.-S.)* et *Tucker (W.-A.)* 613

TUVE (M.-A.). — Voir *Breit (G.)*, *Tuve (M.-A.)* et *Dahl (O.)* 578

TUVE (M.-A.), BREIT (G.) et HAFSTAD (L.-R.). — Utilisation des très hauts potentiels à l'alimentation des tubes à vide 370

VASSILIÈRE-ARLHAC. — Présentation des nouveaux oscillographes de M. Blondel et de leurs applications 353

VEAUX (M.). — Cours d'électricité (Bibliographie) 44

VELLARD (L.). — Les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité 775, 819

VERBÈKE. — A propos de la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension 2

VERMAN (L.-C.) et REICH (H.-J.). — Un régulateur de tension à triodes pour machines puissantes .. 188

VOIGTLAENDER (Hans). — Relations nouvelles entre les grandeurs fondamentales pour l'exploitation des tramways et chemins de fer souterrains à grande vitesse 674

WALDEN (M.-P.). — Les solutions non aqueuses et la conductibilité des sels binaires typiques 1023

WALTER (H.). — Nouvelles installations de balisage des lignes de navigation aérienne 556

WALTJIEN (Johann). — Schaltanlagen für Drehstrom-Kraftwerke (Installations des postes de manœuvre, de réglage et de contrôle des usines génératrices à courant triphasé) (Bibliographie).. 604

WALTON (P.-J.). — Voir *Thompson (L.-W.)* et *Walton (P.-J.)*. 346

WEBB (E.-E.) et FORD (L.-H.). — Mesures précises de la perméabilité de barreaux droits et de lames dans les régions de haute perméabilité 167

WEINMAN (R.-A.). — La soudure des métaux ferreux et non ferreux pour la flamme de l'hydrogène atomique 424

WESSNER (H.). — Description d'un relais destiné à la protection sélective des réseaux 1034

WEST (H.-B.). — Réglage en charge des tensions et déphasages par prises auxiliaires sur les transformateurs 916

WHITE (P.). — Sur la diffusion et la diffraction des rayons cathodiques 978

WILLIAMS (John-Warren). — Voir *Johnstone (J.-H.-L.)*. et *Williams (John-Warren)* 408

WHITEHEAD (J.-B.). — Absorption diélectrique et perte diélectrique 92

WIGGERT (J.-F.). — Electrification d'une importante mine d'or aux Etats-Unis 147

WITTGENSTEIN (G.-F.). — La signalisation des passages à niveau 68

WOOD (R.-W.). — Perfectionnement à la technique de l'obtention de l'effet Raman et cas particulier des gaz 170

YAMAUTI (Z.) et OKAMATU (M.). — La photométrie des lampes au néon à électrodes hélicoïdales et leurs caractéristiques 898

ZIEMECKI (S.-L.). — L'effet Raman au voisinage du point critique 542

INDEX DES ANNONCES

MATERIEL ÉLECTRIQUE

Accumulateurs.

Accumulateurs fixes et de traction (Société des), route de Meaux (Pont de la Folie), Romainville (Seine).

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Gramme (Société), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

Travail électrique des Métaux (Société pour le), 26, rue Laffitte, Paris (9e).

Tudor, 16, rue de la Baume, Paris (8e).

Appareillage électrique.

A. E. G. (Société française — pour l'Importation et la Vente en France du Matériel de l'Aligemeine Elektricitats Gesellschaft a Berlin), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Aluminium français, 23 bis, rue Balzac, Paris (8e).

Appareils électro-automatiques (Société industrielle d'), 104, rue Lecourbe, Paris (15e).

Asea (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

Bardon, 61, boulevard National, à Clichy (Seine)

Bonvoisin, 35, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e).

Catu (Etablissements), 82, avenue de la République, Paris (11e).

Constructions électriques, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Delle (Ateliers de constructions électriques de), 25, chemin de Cyprian, Villeurbanne (Rhône).

Demoly (E.), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

Dreyfus et Spira (Etablissements), Ingersheim (Bas-Rhin).

Electricité (Compagnie générale d'), 54, rue La-Boétie, Paris (8e).

Fauris (Ch.), 81, rue d'Inkermann, Lyon (Rhône).

France (Constructions électriques de), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

Gardy, 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine-et-Oise).

Gramme (Société), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

Iliyne-Berline, 12, boulevard du Temple, Paris (11e).

Japy frères (Etablissements), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

Jeumont (Forges et Ateliers de Constructions électriques de), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Legendre frères, 27, rue Saint-Fargeau, Paris (20e).

Matériel électrique S. W. (Le), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

Merlin et Gerin (Etablissements), rue du Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).

Monnier et Desjardin (Société anonyme des Etablissements), 197, rue Saint-Charles, Paris (15e).

Mors (Société d'Electricité), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

Pantohm, représentant MM. Duplay et Sor, 13, rue de l'Aqueduc, Paris (10e).

Petrier, Tissot et Raybaud, 24, rue de la Part-Dieu, Lyon (Rhône).

Proner et Cie, 89, rue de la Roquette, Paris (11e).

Recherches et de Perfectionnements indutriels (Société de), 125, avenue du Président-Wilson, Puteaux (Seine).

Siemens-France, 17, rue de Surène, Paris (8e).

Soulé (Société anonyme des Etablissements industriels), Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

Téléphones (Société industrielle des), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

Transformateur (Le), 15, avenue Matignon, Paris (8e).

Trévoux (Société des Condensateurs de), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

Turenne (L.), 19, rue de Chazelles, Paris (17e).

Usinage et de matériel électrique (Société d'), 26, rue Gambetta, Boulogne-Billancourt (Seine).

Viéville (L.), 8, rue Rougemont, Paris (9e).

Charbons pour Balais et Lampes électriques.

Carbone (Le), 37 à 41, rue de Paris, Gennevilliers (Seine).

Charbons pour l'Electricité (Compagnie lorraine de), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

Condensateurs.

CONDENSATEURS (Société industrielle des) (Etablissements Ségal), 37, rue Henri-Martin, Colombes (Seine).

LYON (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE), 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

MEIROWSKY ET Cie, représentant Koscherak (F.-E.), 44, rue Taitbout, Paris (9e).

TRÉVOUX (SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

VARRET ET COLLOT (SOCIÉTÉ DES ETABLISSEMENTS), 7, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

Construction électrique et mécanique.

A. E. G. (SOCIÉTÉ FRANÇAISE — POUR L'IMPORTATION ET LA VENTE EN FRANCE DU MATÉRIEL DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITATS GESELLSCHAFT A BERLIN), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ARCA (SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES RÉGULATEURS UNIVERSELS), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

BACHELET (P.), 60 *ter*, rue Haxo, Paris (20e).

BONNIER, 20, rue Saint-Gilbert, Lyon (Rhône).

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 105, cours Berriat, Grenoble (Isère).

BOULOGNE-SUR-SEINE (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 87, rue du Château, Boulogne-sur-Seine (Seine).

BREGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE (SOCIÉTÉ DE), 78, rue Vitruve, Paris (20e).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ SAVOISIENNE DE), Aix-les-Bains (Savoie).

DELLE (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 25, chemin de Cyprian, Villeurbanne (Rhône).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54, rue La Boétie, Paris (8e).

ELECTRO-INDUSTRIELLE (COMPAGNIE), 18, rue Vernier, Paris (18e).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

ETUDES ET DE CONSTRUCTIONS MÉTALLURGIQUES (SOCIÉTÉ D'), 64, rue La Boétie, Paris (8e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

HEWITTIC ELECTRIC Co LTD, 11, rue du Pont, Suresnes (Seine).

HOMÉCOURT (FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'), Saint-Chamond (Loire) et 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9e).

JACQUET frères (ANCIENS ETABLISSEMENTS), Vernon (Eure).

JAPY frères (ETABLISSEMENTS), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

LEGENDRE frères, 37, rue Saint-Fargeau, Paris (20e).

LUTH ET ROSEN (SOCIÉTÉ ÉLECTROMÉCANIQUE), 121, rue Royale, Bruxelles (Belgique) et 14, rue de Naples, Paris (8e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE S. W. (LE), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

MERLIN ET GÉRIN (ETABLISSEMENTS), rue du Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 130, avenue Jean-Jaurès, Ivry-sur-Seine (Seine).

MINICUS (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES), 39, rue de Paris, Asnières (Seine).

MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ DES), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

PEYMEL ET GOUPILLE, 62, rue Jean-Claude-Vivant, Villeurbanne (Rhône).

RAGONOT (E.) (ETABLISSEMENTS), 15, rue de Milan, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

SOULÉ (SOCIÉTÉ ANONYME DES ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS D.), Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

SOULIER (A.), 7, rue de la Gare, Cachan (Seine).

TÉLÉMÉCANIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 3, boulevard National, Nanterre (Seine).

TRANSFORMATIONS ÉLECTRIQUES DE MESURE (SOCIÉTÉ ANONYME DOUAISIENNE DE) (S.A.D.T.E.M.), 4 *bis*, rue Martin-du-Nord, Douai (Nord).

USINAGE ET DE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE (SOCIÉTÉ D'), 26, rue Gambetta, Boulogne-Billancourt (Seine).

WALTER (E.), 64, avenue du Docteur-Durand, Gentilly (Seine).

Matériel neuf et d'occasion.

BOUILLET (P.), 156, rue de Vanves, Paris (14e).

UNIVERSEL ELECTRIC (Etablissements Ad. Roulland), 87, rue de Bagnolet, Paris (20e).

Piles électriques

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

CARBONE (LE), 37 à 41, rue de Paris, Gennevilliers (Seine).

MESURES ET COMPTAGE

Appareils de Mesure.

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES POUR L'INDUSTRIE (SOCIÉTÉ D'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

ASKANIA-WERKE A. G., Kaiserallée, 87-88, Berlin-Friedenau (Allemagne).

CARPENTIER (ATELIERS J.), 20, rue Delambre, Paris (14e).

CHAUVIN ET ARNOUX, 186, rue Championnet, Paris (18e).

CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (COMPAGNIE DE), 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine)

DA ET DUTILH, 81, rue Saint-Maur, Paris (11e).

DÉMOLY, 43, rue de Trévise, Paris (9e).

FABRICATION D'APPAREILS DE MESURE (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE POUR LA), 5, rue Godot-de-Mauroy, Paris (9e).

FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ (COMPAGNIE POUR LA), 12, place des Etats-Unis, Montrouge (Seine).

GARNIER, 82 *bis*, chemin Feuillat et 290, cours Gambetta, Lyon (Rhône).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18e).

MARTINOT (M.), 18, rue Aumaire, Paris (3e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DE CONTRÔLE ET INDUSTRIEL, 2, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris (10e).

OUVRIERS EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION (ASSOCIATION DES), 8 à 14, rue Charles-Fourrier, Paris (13e).

PRÉCISION ÉLECTRIQUE (LA), 10, rue Crocé-Spinelli, Paris (14e).

RICHARD (ETABLISSEMENTS J.), 25, rue Mélingue, Paris (19e).

TRANSFORMATIONS ÉLECTRIQUES DE MESURE (SOCIÉTÉ ANONYME DOUAISIENNE DE) (S.A.D.T.E.M.), 4 *bis*, rue Martin-du-Nord, Douai (Nord).

TRUB, TAUBER ET Cie, 36, boulevard de la Bastille, Paris (12e).

YORKE (H.-William), 24, 26, rue de Turin, Paris (8e).

ZIVY ET Cie, 29 et 31, rue de Naples, Paris (8e).

Compteurs électriques.

CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (COMPAGNIE DE), 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine).

ELECTROMÉTRIE (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 10, rue Rodier, Paris (9e).

FABRICATION DES COMPTEURS A GAZ ET AUTRES APPAREILS (COMPAGNIE CONTINENTALE POUR LA), 17, rue d'Astorg, Paris (8e).

FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ (COMPAGNIE POUR LA), 12, place des Etats-Unis, Montrouge (Seine).

GARNIER, 82 *bis*, chemin Feuillat et 290, cours Gambetta, Lyon (Rhône).

IAPY frères (ETABLISSEMENTS), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18e).

MATÉRIEL POUR LIGNES DE DISTRIBUTION

Câbles et Fils électriques.

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

DIVES (SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

ELECTRO-CABLE (SOCIÉTÉ), 62, avenue d'Iéna, Paris (16e).

FIL DYNAMO (Le), 17 et 19, rue Barrême, Lyon (Rhône).

FIL ISOLÉ MODERNE (LE), Delle (Territoire de Belfort).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

GEOFFROY ET DELORE, 28, rue des Chasses, Clichy (Seine).

HAVRE (TRÉFILERIES ET LAMINOIRS DU) (La Canalisation électrique), 28, rue de Madrid, Paris (8e).

HEDDERNHEIMER KUPFERWERK UND SUEDDEUTSCHE KABELWERKE, Francfort-sur-Mein et Heddernheim; représentants: Renault et G. de Chamborand, 24, rue Caumartin, Paris (9e).

JARRIANT (J.), 233, rue de la Croix-Nivert, Paris (15e)

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75 ,boulevard Haussmann, Paris (8e).

LYON (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE), 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

OLIER (ETABLISSEMENTS A.), Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) et 10, rue Beaurepaire, Paris (10e).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

THOMSON-HOUSTON (Cie FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Isolateurs et Isolants.

ADT (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ETABLISSEMENTS), 45, rue Turbigo, Paris (3e).

BAKÉLITE (LA), 14, rue Roquépine, Paris (8e).

BARNIER (ETABLISSEMENTS), 95, avenue Victor-Hugo, Valence (Drôme).

BOIS BAKÉLISÉ (LE), 15, rue Claudel, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CANADIAN PORCELAIN COMPANY, 343, Abbey House, Victoria Street, London S.W.1. Agence, 24, rue de la Pépinière, Paris (8e).

CHAMBOURNIER (E.), 23, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

CHARBONNEAUX ET Cie, route de Cormontreuil, Reims (Marne).

DELLE (USINES DIÉLECTRIQUES DE), Delle (Territoire de Belfort).

DÉMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

EBÉNOÏD (SOCIÉTÉ ANONYME L'), 7, rue des Fleurs, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54. rue La Boétie. Paris (8e).

ELECTRO-CÉRAMIQUE (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 16, rue de la Baume (Paris (8e).

FIBRE ET MICA (SOCIÉTÉ), rue Frédéric-Fays, Villeurbanne (Rhône).

FIBROMICA (Le), Joseph Lévy, 28, rue Etienne-Dolet, Paris (20e).

GARDY, 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine-et-Oise).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

HAEFELY (E.) ET Cie, Bâle (Suisse).

ISOLANTITE (L'), Société anonyme, 52, boulevard Garibaldi, Paris (15e).

LAQUES ET ISOLANTS « ISOLÉMAIL » (SOCIÉTÉ DES), 67, chemin des Quatre-Maisons, Lyon (Rhône).

L. C. H. (ETABLISSEMENTS), 31, rue Joubert, Paris (9e).

LESQUIN (LA PORCELAINERIE DE), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

MARTINOT (M.), 18, rue Aumaire, Paris (3e).

MATÉRIEL ISOLANT (Le), 20, rue Arago, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

MEIROWSKY ET Cie, représentant Koscherak (F.-E.), 44, rue Taitbout, Paris (9e).

PARVILLÉE frères et Cie (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 53, rue de Châteaudun, Paris (9e).

PORCELAINE HAUTE-TENSION (LA), 16, rue d'Antin, Paris (9e).

QUARTZ FONDU (SOCIÉTÉ NOUVELLE DU), 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

QUARTZ ET SILICE, 5, rue Cambacérès, Paris (8e).

STEATIT-MAGNESIA, Représentants : Duplay et Sor, 13, rue de l'Aqueduc, Paris (10e).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

WEIDMANN (ANCIENS ETABLISSEMENTS H.), Fabrique de cartons « Presspan » et de matières isolantes pour l'Electricité, Rapperswill (Suisse).

Pylônes.

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère) et 124, rue La-Boétie, Paris (8e).

CONSTRUCTION SOUDÉE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE), 4, rue de la Bienfaisance, Paris (8e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUE DE), Jeumont (Nord).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

TOUL (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DE), route de Paris, Toul (Meurthe-et-Moselle).

INSTALLATIONS ET ENTREPRISES ÉLECTRIQUES

APPLICATIONS MÉCANIQUES DU CIMENT ARMÉ (SOCIÉTÉ D'), 55, quai de la Baronnie, Ablon (Seine-et-Oise).

APPLICATIONS NOUVELLES DU CIMENT ARMÉ (SOCIÉTÉ D'), 132, rue Lafayette, Paris (10e).

BAUMGARTEN ET Cie (SOCIÉTÉ D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES), Strasbourg Arsenal (Bas-Rhin).

BÉTON ARMÉ (SOCIÉTÉ MELUNAISE DE), 7, rue Chaligny, Paris (12e).

COLLET Frères et Cie (LES ETABLISSEMENTS), 45, quai Gailleton, Lyon (Rhône).

CONDUITES ET POTEAUX EN CIMENT ARMÉ, 5, cours Jean-Jaurès, Grenoble (Isère).

ELECTRIFICATION (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 4, cité d'Antin, Paris (9e).

ELECTRIFICATION INDUSTRIELLE (L'), 112 *bis* et 112 *ter*, rue Cardinet (Paris (17e).

ELECTRIQUE DES BOIS ET CIMENTS (L'), 104, boulevard Berthier, Paris (17e).

ENTREPRISES (SOCIÉTÉ AUXILIAIRE D'), 3, avenue Foch, Metz.

ENTREPRISES (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

ENTREPRISES ÉLECTRIQUES (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 16, rue de la Baume, Paris (8e).

ENTREPRISES HYDRAULIQUES ET DE TRAVAUX PUBLICS (COMPAGNIE D'), 25, rue de Courcelles, Paris (8e).

EQUIPEMENT DES VOIES FERRÉES ET DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ D'), 18, rue de Tilsitt, Paris (17e).

EST (SOCIÉTÉ ANONYME FORCE ET LUMIÈRE ÉLECTRIQUE DE L') 7, quai Kellermann, Strasbourg (Bas-Rhin).

GIRAUDON, 55, rue d'Amsterdam, Paris (8e).

HAEFELI ET KAELIN, Lure (Haute-Saône).

HAVRE (TRÉFILERIES ET LAMINOIRS DU) (La Canalisation électrique), 28, rue de Madrid, Paris (8e).

LIGNE ÉLECTRIQUE (La), 22, rue de la Pépinière, Paris (8e).

MARSEILLE (SOCIÉTÉ DES GRANDS TRAVAUX DE), 25, rue de Courcelles, Paris (8e).

MONTAGES ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ DE), 39 *bis*, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

MORS (SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

POTEAUX ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES), 67, rue de Dunkerque, Paris (9e).

TENSION (ETABLISSEMENTS BASSE ET HAUTE), 120, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

TRAVAUX D'ECLAIRAGE ET DE FORCE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE) (Anciens Etablissements Clémançon), 23, rue Lamartine, Paris (9e).

TRAVAUX D'EXPLOITATIONS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ ANONYME DE), 39 *bis*, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

UNIVERSEL ELECTRIC (Etablissements Ad. Roulland), 35, rue de Bagnolet, Paris (20e).

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 bis, rue Balzac, Paris (8e).

BARDON, 61, boulevard National, Clichy (Seine).

CHARBONS POUR L'ÉLECTRICITÉ (COMPAGNIE LORRAINE DE), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

ECLAIRAGE TECHNIQUE (L'), 30 *bis*, rue Claude-le-Lorrain, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54, rue La Boétie, Paris (8e).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

HOLOPHANE (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE), 156, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LACARRIÈRE (SOCIÉTÉ), 48, rue de la Victoire, Paris (9e).

LAMPES (COMPAGNIE DES), 29, rue de Lisbonne, Paris (8e).

MAIN (G.) ET CIE, 91, avenue de Clichy, Paris (17e).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

MÉCANO FRANÇAISE (SOCIÉTÉ), 19, rue Louis-le-Grand, Paris (2e).

MORS (SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ) 11, rue Petit, Clichy (Seine).

SAUNIER, DUVAL, FRISQUET (SOCIÉTÉ DES ANCIENS ETABLISSEMENTS), 99, avenue de la République, Paris (11e).

TRAVAUX D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE) (Anciens Etablissements Clémançon) 23, rue Lamartine, Paris (9e).

VISSEAUX (J.), 87, quai Pierre-Scize, Lyon (Rhône).

Accessoires pour l'Eclairage.

NOVITAS, DOEHNER (A.), 1, rue du Jeune-Anacharsis, Marseille (Bouches-du-Rhône).

WIT, 69, rue Bellecombe, Lyon (Rhône)

Applications électrodomestiques

AP-EL (SOCIÉTÉ), 41, rue La Fayette, Paris (9e).

LUTRA, 19, rue de Londres, Paris (9e).

PARVILÉE frères (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 53, rue de Châteaudun, Paris (9e).

SAUTER (SOCIÉTÉ POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS), 32, rue de Mulhouse, Saint-Louis (Haut-Rhin).

ÉLECTROCHIMIE ET ELECTROMÉTALLURGIE

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES POUR L'INDUSTRIE (SOCIÉTÉ D'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

DIVES (SOCIÉTÉ D'ÉLECTROMÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

ELECTROCHIMIE (SOCIÉTÉ D'), 2, rue Blanche, Paris (9e).

LEVAGE ET MANUTENTION

Appareils de Levage et de Manutention

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE (SOCIÉTÉ DE), 78, rue Vitruve, Paris (20e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

GERVAIS (F.) (Anciens Etablissements Pontille), constructeur, 11 *bis* à 17, rue des Tournelles, Lyon (Rhône).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA COURNEUVE (FONDERIES ET ATELIERS DE), 48, rue La Boétie, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE S. W. (LE), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

TOURTELLIER (ETABLISSEMENTS), 49, avenue de Lutterbach, Mulhouse (Haut-Rhin).

MINES

Matériel pour Mines.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE), (Anciens Etablissements Delachaux), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

MATÉRIEL RADIOMÉTALLOGRAPHIQUE

GAIFFE-GALLOT ET PILON (SOCIÉTÉ ANONYME DES ETABLISSEMENTS), 34, boulevard de Vaugirard, Paris (15e).

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Télégraphie sans fil.

MINICUS (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES), 39, rue de Paris, Asnières (Seine).

RADIO-ELECTRIQUE (SOCIÉTÉ FRANÇAISE), 79, boulevard Haussmann, Paris (8e).

TRÉVOUX (SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

Téléphonie.

BREGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

ETUDES POUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES ET TÉLÉGRAPHIQUE A LONGUE DISTANCE (SOCIÉTÉ D'), 51, 53, rue de l'Amiral Mouchez, Paris (13e).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

THOMSON-HOUSTON (COMPAGNIE DES TÉLÉPHONES), 254, rue de Vaugirard, Paris (15e).

TRACTION

Traction électrique.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

INDUSTRIE DES CHEMINS DE FER ET DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ PARISIENNE POUR L'), 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Matériel électrique S. W. (Le), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

Oerlikon (Société), Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

Appareillage pour la Traction.

Démoly (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

Jeumont (Forges et Ateliers de Constructions électriques de), Jeumont (Nord).

Matériel roulant pour Chemins de fer.

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Fives-Lille (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

France (Constructions électriques de), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

Gennevilliers (Aciéries de), (Anciens Etablissements Delachaux), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

Oerlikon (Société), Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

Signaux et Enclenchements pour Chemins de fer

Mors (Société d'Electricité), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

MACHINES MOTRICES

MACHINES HYDRAULIQUES

Aménagements hydrauliques et accessoires

Barrages automatiques (Société anonyme des), Zurich (Suisse).

Bouchayer et Viallet (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

Charmilles (Ateliers des), 109, route de Lyon, Genève (Suisse).

Hydro-mécanique (Société), 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).

La Chaléassière (Société nouvelle des Usines de), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

Turbines hydrauliques.

Charmilles (Ateliers des), 109, route de Lyon, Genève (Suisse).

Dubois (R.), 31, rue de Chabrol, Paris (10e).

Escher Wyss et Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

France (Constructions électriques de), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

Hydro-mécanique (Société), 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).

Schneider, Jaquet et Cie (Société anonyme), Strasbourg-Koenigshoffen (Bas-Rhin).

Teisset-Rose-Brault (Etablissements), 17, rue Bachaumont, Paris (2e) et Chartres (Eure-et-Loir).

Voith (J.-M.), Heidenheim-sur-Brenz (Wurtemberg), bureaux, 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

MACHINES A GAZ, A EXPLOSION ET A COMBUSTION INTERNE

Gazogènes.

Bouchayer et Viallet (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

La Chaléassière (Société nouvelle des Usines de). 5, avenue du Coq, Paris (9e).

Moteurs a gaz et d'Industrie mécanique (Société de), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

Moteurs.

A. E. G. (Société française — pour l'Importation et la Vente en France du Matériel de l'Allgemeine Elektricitats Gesellschaft a Berlin), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Fives-Lille (Compagnie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

France (Constructions électriques de), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

La Chaléassière (Société nouvelle des Usines de), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

Moteurs a gaz et d'Industrie mécanique (Société de), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

Renault, 8, avenue Emile-Zola, Billancourt (Seine).

MACHINES A VAPEUR

Chaudières.

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Bouchayer et Viallet, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

Escher Wyss et Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

La Chaléassière (Société nouvelle des Usines de), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

La Courneuve (Fonderies et Ateliers de), 48, rue La Boétie, Paris (8e).

Niclausse (J. et A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

Accessoires pour chaudières.

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Applications électriques pour l'Industrie (Société d'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

Balances et Bascules (Société des), 26, rue Cadet, Paris (9e).

Bouchayer et Viallet (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

Cocard (Société anonyme des Etablissements Jules), 18 à 22, rue de Châtillon, Paris (14e).

Collombus (Les Economiseurs), 17, avenue de l'Opéra, Paris (1er).

Fumivorité et Dépoussiérage industriel, 16, rue de la Baume, Paris (8e).

Kater et Ankersmit, 6, rue de Madrid, Paris (8e).

Niclausse (J. et A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

Ulrici (Epurateur de vapeur), 18, rue Treilhard, Paris (8e).

WANNER (SOCIÉTÉ DES ETABLISSEMENTS), 67, avenue de la République, Paris (11e).

Tirage mécanique.

KATER ET ANKERSMIT, 6, rue de Madrid, Paris (8e).

NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

PRAT (SOCIÉTÉ DES CHEMINÉES LOUIS), 146, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

STURTEVANT (COMPAGNIE), 60, rue Saint-Lazare, Paris (9e).

Machines à vapeur.

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

Turbines à vapeur.

A. E. G. (SOCIÉTÉ FRANÇAISE — POUR L'IMPORTATION ET LA VENTE EN FRANCE DU MATÉRIEL DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITATS GESELLSCHAFT A BERLIN), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

BREGUET (MAISON), 19, rue Didot, Paris (14e).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse). et 15, rue de Milan, Paris (9e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

MATIÈRES PREMIÈRES ET OUTILLAGE

Combustible.

ECLAIRAGE, CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE (SOCIÉTÉ D'), 22, rue de Calais, Paris (9e).

GAZ DE PARIS (SOCIÉTÉ DU), 6, rue Condorcet, Paris (9e).

Construction.

DOUCE ET MOULIN (Terrazzolith), 64, rue Petit, Paris (19e).

Courroies et Transmission.

POULIE « DEM », 44, rue de Lisbonne, Paris (8e).

Décolletage

FORCE, CHEVRENAY (ETABLISSEMENTS), 38, rue des Panoyaux, Paris (20e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

Engrenages.

CITROËN (ENGRENAGES), 31, quai de Grenelle, Paris (15e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

Epurateurs d'huile

ALFA LAVAL (SOCIÉTÉ), 10, rue Charles-V, Paris (4e).

CAZAGNE (ETABLISSEMENTS EMILE), 6, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e).

HERING, Nuremberg (Allemagne); agent général BENOIST (M.), 26, rue Adam-Ledoux, Courbevoie (Seine).

HIGNETTE (SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CENTRIFUGATION), 7-9, rue Robert-Lindet, Paris (15e).

KATER ET ANKERSMIT, 6, rue de Madrid, Paris (8e).

SHARPLES (SOCIÉTÉ ANONYME DES APPAREILS CENTRIFUGES), 70, rue du Vieux-Pont, Rueil (Seine-et-Oise).

Ferrures.

JACQUEMARD (Jean), La Ricamarie (Loire).

USINES DU PAQUIS (SOCIÉTÉ ANONYME DES), Cons-la-Grandville (Ardennes).

Fours industriels.
Matériel pour Forges et Fonderies.

MÉKER (G.) ET Cie, 105, boulevard de Verdun, Courbevoie (Seine).

Huiles pour Machines et Appareils électriques.

ISOLATOR, 64, rue La Boétie, Paris (8e).

MAILLERAYE (SOCIÉTÉ DE LA), 77, rue de Miromesnil, Paris (8e).

MERCIER ET Cie, 14, rue de Liége, Paris (9e).

VACUUM OIL Co, 34, rue du Louvre, Paris (2e).

VILLENEUVE, 47, boulevard Saint-Jacques, Paris (14e).

Machines-outils, Outillage.

BAZIN (Pierre), 93, rue de l'Assomption, Paris (16e).

DEBRON, 91, rue du Centre, La Garenne-Colombes (Seine).

ELECTRO-SOL, 3, rue de Buenos-Ayres, Paris (3e).

FROITZHEIM UND RUDERT, 126-131, Langhansstrasse, Berlin-Weissensee (Allemagne). Représentant M. Benoist, 26, rue Adam-Ledoux, Courbevoie (Seine).

GAMBIN ET Cie, 128, rue du Point-du-Jour, Billancourt (Seine).

GOEMINNE (ETABLISSEMENTS O.), 47 *bis*, boulevard Félix-Faure, Saint-Denis (Seine).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MANUFACTURE DE MACHINES AUXILIAIRES POUR L'ELECTRICITÉ ET L'INDUSTRIE, 21, boulevard de Courbevoie, Neuilly-sur-Seine (Seine).

RAWL (CHEVILLE), 35, rue Boissy-d'Anglas, Paris (8e).

Métallurgie

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

DELACHAUX (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 151-153, rue des Cabœufs, Gennevilliers (Seine).

HOMÉCOURT (FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'), 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9e).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 180, avenue Jean-Jaurès, Ivry-sur-Seine (Seine).

Métaux électrolytiques.

DIVES (SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

Poteaux en bois. Moulure

SPYCHIGER (Auguste), Nidau-Bienne (Suisse).

Produits chimiques.

ELECTRO-CHIMIE (SOCIÉTÉ D'), 2, rue Blanche, Paris (9e).

Roulements à billes.

APPLICATIONS MÉCANIQUES (COMPAGNIE D'), 15, avenue de la Grande-Armée, Paris (16e).

TIMKEN (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE), 5 et 7, quai Aulagnier, Asnières (Seine).

Refroidisseurs, Ventilateurs et Machines soufflantes

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

COMBEMALE, 12, rue Curton, Clichy (Seine).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

KATER ET ANKERSMIT, 6, rue de Madrid, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

PLANCHE ET Cie (ETABLISSEMENTS R.), 3 et 5, route de Frans, Villefranche-sur-Saône, (Rhône).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

DIVERS

Assurances.

PIEL (F.), gendre et LIÈVRE (J.-A.), 27, rue de Châteaudun, Paris (9e).

SOLEIL (Le), 23, rue de Mogador, Paris (9e).

Bureaux d'études.

BŒTTCHER fils, 39, boulevard Saint-Martin, Paris (10e).

INGÉNIEURS-CONSEILS (ASSOCIATION FRANÇAISE DES), 19, rue Blanche, Paris (9e).

OZALID (SOCIÉTÉ LA CELLOPHANE), route des Carrières, Bezons (Seine-et-Oise).

TRADUCTIONS ET DE RECHERCHES DOCUMENTAIRES (BUREAU DE), 2, square Desnouettes, Paris (15e).

Fournitures pour bureaux

REMINGTON TYPEWRITER Co, 12, rue Edouard-VII, Paris (9e).

Levées de plan

ASKANIA-WERKE A. G., Kaiserallée, 87-88, Berlin-Friedenau (Allemagne).

Protection contre l'incendie.

PHILIPPS ET PAIN (ETABLISSEMENTS), 1, rue Taitbout, Paris (9e).

Renseignements commerciaux

DÉVELOPPEMENT DE LA VENTE A CRÉDIT (SOCIÉTÉ POUR LE), 12, rue Newton, Paris (16e).

FRANÇOIS, 6, boulevard Montmartre, Paris (9e).

IMMIGRATION (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 35, rue Saint-Dominique, Paris (7e).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 1. — 4 JANVIER 1930.

Chronique. — Commission électrotechnique internationale : Réunion du Comité de l'Aluminium, p. 1. — A propos de la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension, p. 2. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique d'un projet de normalisation, p. 2. — Bibliographie : La nouvelle mécanique des quanta, par George BIRTWISTLE, traduit par M. PONTE et Y. ROCARD, préface de J. HADAMARD, p. 3; Histoire de l'enseignement de la Chimie en France, par René SORDES, p. 4; Einführung in die Komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif), par Ludwig CASPER, p. 4.

Section scientifique et technique. — Surtensions dans les transformateurs : Propagation des ondes de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire, par J. FALLOU, p. 5. — Revues, analyses et informations : Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné, p. 10; La qualité du synchronisme dans l'appareil Baudot et ses conséquences au point de vue de la vitesse de transmission, p. 12; La production et les emplois du beryllium, p. 14.

Section industrielle. — Un nouveau moteur asynchrone compensé, par H. DE PISTOYE, p. 15. — Revues, analyses et informations : Le réglage des postes récepteurs de T. S. F. par l'emploi des dispositifs de repérage nominal « Valundia », p. 26; Pression développée par la fusion de fusibles ou l'établissement d'arcs, en vase clos, p. 28; Intensité de courant admissible dans les barres générales, p. 29; La commande des circuits d'éclairage public avec lampes montées en parallèle, p. 31; Les véhicules électriques à accumulateurs; les camions de la Société des Véhicules électriques industriels, p. 31.

Section économique et financière. — Le développement de l'orientation professionnelle, par G.-E. BERTIN, p. 33. — Assemblées générales : Electricité et Gaz du Nord, p. 35.

Section de législation. — Sur les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire (Arrêt du Conseil d'Etat du 5 juillet 1929), par A. REMAURY, p. 37. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur l'application de la législation sur les assurances sociales, p. 38; Sur l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'une société anonyme ayant des succursales à l'étranger, p. 39; Sur l'application de la taxe de transmission aux actions d'apport nominatives, p. 39; Sur l'assujettissement à la vérification des poids et mesures, p. 40; Sur les droits d'expropriation que confère aux compagnies ferroviaires la concession d'usines ou de lignes électriques, p. 40; Sur la déclaration des bénéfices que doit faire une société lors de sa dissolution, p. 40; Sur la négociabilité des actions d'apport d'une société à responsabilité limitée qui se transforme en société anonyme, p. 40.

Commission électrotechnique internationale : Réunion du Comité de l'Aluminium.

Le Comité de l'Aluminium de la Commission électrotechnique internationale, chargé de la fixation des constantes d'un aluminium type, s'est réunie à Berlin le 6 novembre 1929.

M. Feldmann, président de la Commission internationale, a ouvert la séance en remerciant le Comité électrotechnique allemand de l'hospitalité qu'il offrait cette année au comité et a fait désigner comme président des séances, M. le docteur Apt.

La France était représentée à cette réunion par M. Jouaust, sous-directeur du Laboratoire central d'Electricité, assisté, comme experts techniques, de MM. Suhr (Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques, Alais, Froges et Camargue), de Biran et Baran (L'Aluminium français), Parmentier (Tréfileries et Laminoirs du Havre), Hua (Electro-Câble).

La précédente réunion de la sous-commission avait eu lieu à Paris, en novembre 1928 (1). A cette réunion, un certain nombre de constantes de l'aluminium type avaient été fixées et le programme de la session actuelle comportait simplement la fixation de la résistivité moyenne d'un aluminium écroui, cette fixation devant être faite après examen de mesures effectuées dans chaque pays sur au moins mille échantillons. Des rapports avaient été fournis sur ce sujet par les pays suivants : Allemagne, France, Grande-Bretagne, Etats-Unis d'Amérique, Suisse.

La valeur de 2,845 microhms-centimètres à la température de 20 degrés centésimaux, valeur correspondant aux résultats obtenus dans tous les pays européens, a été adoptée.

Le Comité a en outre apporté quelques modifications au texte adopté en 1928.

La définition de l'aluminium écroui « métal dont la

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 5 janvier 1929, t. XXV, p. 1-2.

charge de rupture par millimètre carré est supérieure à 16 kg », a été remplacée par : « métal dont la charge de rupture par millimètre carré est supérieure à 15 kg ». De plus, on a supprimé la définition de la charge de rupture ainsi conçue : « charge que l'éprouvette peut supporter pendant une minute sans se rompre ».

D'autre part, une phrase explicative relative à la tolérance de 1 pour 100 accordée lorsque les mesures sont effectuées sur un fil prélevé sur un câble a été ajoutée. Cette phrase signale que la nécessité d'accorder cette tolérance est due aux difficultés d'exécuter des mesures géométriques correctes sur un fil ayant été tordu et par suite de déterminer exactement sa résistivité.

Le Comité a également envisagé de définir les constantes de l'aluminium recuit, ce métal étant susceptible d'être utilisé dans les travaux de distribution. Mais il fut arrêté par la difficulté de définir le métal recuit ; aussi demande-t-il aux fabricants d'aluminium des divers pays de lui faire avant février 1930, des suggestions à ce sujet.

Le texte proposé par le Comité pour les spécifications de l'aluminium écroui sera soumis, aux fins d'approbation, à la Commission électrotechnique internationale à sa session plénière de juin 1930. — R. J.

A propos de la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension. — Dans la « Revue générale de l'Electricité » du 9 novembre 1929, t. XXVI, pages 749 à 753, a été publié un article de M. E. Brylinski sur cette question. Nous avons reçu, à la suite de cette publication, une lettre de M. P. Verbèke, ingénieur à la Compagnie des Mines de Vicoigne, Nœux et Drocourt, dont nous reproduisons le texte ci-dessous. Cette lettre est suivie de la réponse de M. E. Brylinski.

M. Verbèke écrit :

J'ai lu avec intérêt l'article de M. Brylinski sur la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension, paru dans la « Revue générale de l'Electricité » du 9 novembre 1929, et dans lequel l'auteur approuve la mise à la terre du neutre aussi bien dans les réseaux à 230/400 V que dans les réseaux à 115/200 V.

Le nombre imposant d'études publiées sur cette question, avec étalage de formules, de diagrammes et de schémas, et les conclusions opposées auxquelles leurs auteurs aboutissent malgré une même estimation de l'intensité de courant reconnue dangereuse pour le corps humain, prouvent surabondamment qu'en réalité les choses ne se passent pas aussi simplement, et qu'elles ne sauraient être aussi facilement traitées par le calcul. C'est pourquoi je me permets de vous communiquer quelques réflexions moins académiques, basées sur une expérience déjà longue des réseaux à basse tension de force motrice et de lumière.

1° Un réseau est assimilable à un outillage dont on a le devoir de tirer le maximum de possibilités. La principale qualité de cet outillage, celle qui fait sa raison d'être, c'est la permanence de son fonctionnement. C'est sur l'espoir de cette permanence que sont précisément basés le développement des applications de l'électricité dans l'industrie et l'électrification rurale. Autrement dit, il faut, avant tout, tendre à éliminer les « pannes de courant ». Or, il est incontestable qu'un réseau à neutre isolé présente beaucoup moins de pannes qu'un réseau à neutre à la terre. En effet, si le neutre est isolé, une « terre » accidentelle se produisant soit sur le fil neutre, soit sur un fil de phase, ne provoque pas le déclenchement du disjoncteur général, ni la fusion des fusibles. Le réseau continue à fonctionner. Le service d'entretien a toute facilité pour repérer « la terre » et l'éliminer. Au contraire, si le neutre est déjà normalement à la terre, une terre accidentelle sur une phase provoque une panne, laquelle ne peut pas toujours être réparée immédiatement, ce qui laisse les infortunés abonnés privés d'énergie électrique pendant parfois plusieurs jours dans la plupart des réseaux ruraux (même dans la grande banlieue de Paris) ; dans l'industrie, les mines, c'est l'arrêt brutal des machines et la réparation de fortune plus ou moins immédiate et plus ou moins heureuse, sans préjudice de la possibilité d'accidents graves pour le personnel occupé autour de certains engins.

La privation intempestive d'éclairage dans une ville, un soir de fête, par exemple, est beaucoup plus grave que la vague possibilité d'électrocution d'un imprudent qui se prétend capable de réparer une douille ou de compléter son installation sans avoir pris la précaution d'enlever les fusibles généraux de son habitation.

On doit déplorer que tant d'exploitants de réseaux oublient que leur devoir absolu est d'assurer la continuité de leur fourniture d'énergie à leurs abonnés.

2° J'estime qu'un réseau doit être parfaitement sain, et ne doit pas avoir de compromissions avec des mises à la terre plus ou moins franches du fil neutre en des points quelconques du sol, qui ne sont pas nécessairement au même potentiel. Il y aurait beaucoup à dire des illusions que se font certains exploitants sur la qualité de leurs mises à la terre. Et il est amusant de voir le fil neutre soigneusement supporté le long du réseau par des isolateurs, alors qu'on a mis ce fil en contact avec la terre en un ou plusieurs points.

3° Il est regrettable que l'arrêté du 30 avril 1927 impose la mise à la terre du neutre, en vue de la protection du public contre le danger de l'électrocution. Je pense que l'intérêt général doit passer avant les cas particuliers, et qu'il reste encore à prouver que la mise à la terre du neutre rend les réseaux moins dangereux. Il ne faut tout de même pas avoir l'idée fixe de l'électrocution.

On consultera avec profit une longue note sur le sujet, publiée dans le « Bulletin des Associations françaises des Propriétaires d'Appareils à vapeur » de janvier 1928 ; l'auteur y reproduit de très nombreux résultats de mesures effectuées sur environ 450 installations contrôlées par ses services, et sa conclusion est nettement favorable à l'isolation du neutre. J'insiste : près de 2 000 mesures ont été faites sur des réseaux industriels, publics, miniers, etc., en service normal. Ce sont des faits d'expérience. C'est la meilleure méthode d'étude de certains problèmes complexes.

Voici la réponse de M. Brylinski :

Je suis bien d'accord avec M. Verbèke sur la nécessité d'assurer la continuité du service sur les réseaux de distribution, mais je pense que cette continuité doit être assurée plutôt par une bonne installation et un entretien soigné que par l'adoption de dispositions qui permettent systématiquement à un réseau de fonctionner avec des pertes à la terre en des points où il ne devrait pas s'en produire.

D'autre part, je connais la note parue dans le « Bulletin

des Associations françaises des Propriétaires d'Appareils à vapeur » de janvier 1928, mais si je reconnais au résultat des mesures qui y sont mentionnées la haute valeur dûe au matériel expérimental qui a été employé, j'estime que l'interprétation des résultats d'expérience peut conduire à des conclusions divergentes et je ne suis pas d'accord en particulier avec celle adoptée jusqu'à présent par les associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur.

Enfin, j'estime que M. Verbèke parle avec quelque insouciance de la protection du public contre les dangers d'électrocution.

Lorsqu'une surtension importante se produit sur un réseau de basse tension par suite, soit de phénomènes atmosphériques, soit de communication avec la haute tension, et que cette surtension entraîne dans un village la mort de plusieurs personnes se trouvant dans des fermes différentes, la mort d'animaux et des incendies de bâtiments, ces accidents de la plus haute gravité produisent dans toute la population de la région une émotion considérable et parfaitement justifiée.

Il ne suffit pas de dire que de semblables accidents ne se produisent que très rarement car ils se produisent de temps à autre et, je le répète, l'émotion qu'ils créent dans les populations est trop justifiée pour qu'on puisse se dispenser d'en tenir compte.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique d'un projet de normalisation. — Ce projet, indexé CNM 141, a pour objet d'unifier les hauteurs d'axe des machines motrices et des machines réceptrices, en particulier les hauteurs d'accouplement des moteurs électriques et des appareils d'utilisation.

La série des hauteurs proposées s'échelonne en série géométrique de raison 1,06, dite série de Renard tertiaire, qui concorde à deux ou trois chiffres près avec la norme allemande. Il est recommandé de n'employer autant que possible que les termes de deux en deux de cette série (termes de la série secondaire de Renard de raison 1,12) avec préférence pour les termes de quatre en quatre (série de raison 1,25). Les nombres exprimant dans cette dernière série les hauteurs d'axe sont respectivement

50 64 80 100 125 160 200 250 320 400 500 640 800 1000

Au point de vue des tolérances, il a été admis que les tolérances seraient toujours prises en moins. En Allemagne les tolérances admises sont

de 50 à 250.....	— 0,5
de 265 à 600.....	— 1
de 640 à 1000.....	— 1,5

La Suède propose des tolérances tout à fait du même ordre de grandeur. Par contre, la Suisse propose de ramener les tolérances au tiers environ de la valeur indiquée par l'Allemagne,

Une réunion internationale devant avoir lieu dans le courant de ce mois, le Comité de Normalisation de la Mécanique prie les intéressés de lui adresser, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), leurs objections dans le plus bref délai, en tout cas avant le 31 janvier 1930, date de clôture de l'enquête. Un exemplaire du numéro du « Bulletin » de novembre dans lequel est publié le projet sera envoyé gratuitement sur demande.

Bibliographie : La nouvelle mécanique des quanta, par George Birtwistle, traduit par M. Ponte et Y. Rocard, préface de J. Hadamard (1). — On peut dire que ce livre consacré à l'étude des concepts modernes de la physique moléculaire est divisé en deux grandes parties : la première est une révision des théories « anciennes », celles qui ont de trois à quatre ans de date ou, pour préciser, qui ont paru de 1922 à 1925; elle comprend les chapitres I à XVII inclusivement; dans la seconde sont exposés les principes de la mécanique ondulatoire et les applications qui en ont été faites depuis son apparition (1925 à 1927); cette partie s'étend du chapitre XVIII au chapitre XXXII.

Il convient, tout d'abord, de signaler que toutes les innovations hardies dont il est question dans cet ouvrage sont étayées sur des données expérimentales fournies en grand nombre par la spectroscopie surtout, puis par l'effet Zeeman, les spectres des rayons X, etc. Mais le lecteur ordinaire et nous entendons par là celui qui, tout en étant versé dans la connaissance des mathématiques et de la physique supérieure, ne s'occupe pas spécialement des recherches théoriques pourrait reculer devant l'aridité du sujet si l'auteur n'avait soin de montrer, dans un résumé clair et concis qui forme la matière du chapitre I (l'origine et le développement de la nouvelle mécanique des quanta), comment les idées théoriques émises se sont succédé dans le temps et, parfois, s'enchaînent les unes aux autres. Nous lui empruntons quelques éléments de cette bibliographie.

Le travail qui a directement conduit à formuler la nouvelle mécanique a été celui de Kramers et Heisenberg (1925) sur l'absorption et la diffusion du rayonnement d'un atome qu'ils regardaient comme un système multipériodique de la théorie classique, perturbé par la radiation incidente. Ils trouvaient ainsi des résultats qui, pour la première fois, faisaient intervenir des fréquences et des amplitudes propres aux orbites, mais qu'ils purent étendre aux fréquences et aux amplitudes des raies spectrales émises par l'atome. Heisenberg, à son tour, chercha à déduire les formules de quanta directement des grandeurs données par l'expérience, à savoir les fréquences et les intensités des composantes du spectre, ce qui revient à exprimer une grandeur dynamique non plus par une série de termes à une dimension du type Fourier, mais par un tableau à deux dimensions (matrice).

Heisenberg, Born et Jordan s'attachèrent alors au développement de la mécanique des matrices dont ils déduisirent la théorie des oscillateurs harmonique et anharmonique et les formules nécessaires au calcul des composantes de l'effet Zeeman. Simultanément, Dirac (1925) montrait que les conditions de quanta, pour un système multipériodique, pouvaient s'exprimer avec les parenthèses de Poisson de la mécanique classique. On arrive ensuite au principe « d'exclusion » ou « d'interdiction » de Pauli et à l'électron tournant de Uhlenbeck et Goudsmit, qui est une interprétation mécanique du fait dont Pauli avait prouvé la nécessité théorique. Après quelques autres tentatives plutôt infructueuses de Lanczos, de Born et Wiener, etc., Schrödinger (1926) enfin, poussé par les idées nouvelles de Louis de Broglie sur les particules matérielles et leurs ondes associées, supposa que la dynamique d'un atome ne peut pas être représentée par un point qui se déplace dans

(1) Un volume, format 25 cm × 16,5 cm, de 336 pages, édité par la librairie Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris (5e). Prix : broché, 75 fr.

un système de coordonnées spaciales (l'espace q), comme le fait la théorie classique, mais qu'elle doit l'être par une onde de cet espace et non par des rayons, il obtint une équation différentielle à laquelle doit satisfaire la fonction « d'onde » ψ. On trouvera à la page 152 de l'ouvrage tous les calculs relatifs à cette nouvelle hypothèse.

Après la publication, en mai et juin 1926, de deux autres mémoires relatifs aux calculs des intensités des raies dans l'effet Stark et à l'établissement d'une théorie de la dispersion, on put juger la valeur de la méthode de Schrödinger, qui fut adoptée par un grand nombre des chercheurs précédents.

La préface écrite par M. J. Hadamard est très intéressante ; elle fait ressortir d'une façon saisissante l'audace des conceptions auxquelles l'école actuelle des physiciens se voit amenée par les faits observés.

Les traducteurs ont complété les indications bibliographiques de l'édition anglaise et ajouté quelques appendices que déjà réclamaient les nouveaux progrès de la science, notamment la théorie de l'électron de Dirac et la théorie électronique des métaux. On peut donc dire du livre de G. Birtwistle qu'il est rigoureusement à jour. — B. C.

Bibliographie : Histoire de l'enseignement de la Chimie en France, par René Sordes [1]. — L'ouvrage qui nous occupe est le deuxième de la collection dite « Les grandes Enquêtes de la Société de Chimie industrielle » ; il constitue surtout un plaidoyer en faveur d'une réforme radicale de l'enseignement supérieur de la chimie appliquée aussi bien au point de vue des connaissances générales exigées des candidats pour leur admission dans les instituts et les écoles de chimie qu'à celui des examens de sortie qui devront être consacrés par un certificat ou un diplôme d'ingénieur chimiste dont la forme sera vraisemblablement déterminée par la commission nommée le 8 février 1928 après une démarche du Syndicat des Ingénieurs-Chimistes, de l'Union nationale des Ecoles de Chimie et de l'Association générale des Etudiants, auprès du directeur de l'Enseignement supérieur. M. G. Urbain, membre de l'Institut et professeur à la Faculté des Sciences de Paris, a bien voulu écrire pour ce livre une préface dans laquelle, à son tour, il fait ressortir la carence générale de l'enseignement de la chimie dans tous les domaines, mais il vise plus particulièrement la chimie industrielle « parce que, dit-il, toute industrie chimique, soucieuse de son avenir, ne saurait se borner à exploiter les procédés actuels. Ceux-ci sont destinés à vieillir. Il importe de les perfectionner en attendant qu'ils soient remplacés par ceux plus productifs que la science en progrès constants fera naître dans les laboratoires de recherches ».

Ces derniers, pour pouvoir répondre à leur mission, ont besoin de larges crédits ; or ils reçoivent des subventions qui leur permettent juste de vivoter. Quant aux laboratoires des facultés des sciences, « les ressources y sont à tel point misérables que l'enseignement pratique y est presque inexistant » et M. Urbain pousse un véritable cri d'alarme : « La conclusion est claire ; le recrutement des chimistes de recherches risque de se tarir. La chimie française se meurt et les pouvoirs publics ne paraissent pas s'en émouvoir... » De l'avis de M. Sordes, l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris est la seule dont on puisse considérer l'enseignement comme répondant parfaitement aux besoins de l'industrie et qui assure la formation des chefs d'industrie les plus qualifiés.

L'ouvrage n'est cependant pas limité à cet examen critique de la situation actuelle de l'enseignement de la chimie et des besoins des industrie de la chimie ; il débute par un exposé très documenté et très attrayant de l'évolution de la chimie en France depuis le commencement de notre ère. On lira, par exemple, avec beaucoup d'intérêt les quelque soixante pages consacrées au Moyen Age où cette nouvelle science encore à l'état embryonnaire avait des partisans convaincus que ne rebutaient ni les conditions déplorables de leur existence matérielle ni même les persécutions officielles dont souffraient tous ceux qui montraient trop d'indépendance vis-à-vis des théories orthodoxes ; car la chimie était considérée comme suspecte. Aussi, jusqu'à la fin du XVe siècle, les savants furent rares. Les connaissances chimiques étant particulièrement difficiles à acquérir, car l'enseignement proprement dit était pour ainsi dire inexistant.

Ce fut Paracelse, de son vrai nom Théophraste Hohenheim, originaire de Einsiedeln en Suisse, qui « chercha à faire bénéficier la médecine, voire même l'industrie, des résultats obtenus au cours des vaines recherches sur la transmutation ». En France, Bernard Palissy, né en 1510, et la Faculté de Montpellier osèrent de modestes essais d'enseignement, mais il fallut attendre le milieu du XVIIe siècle pour qu'un ministre éclairé, Richelieu, brisant les préjugés imposât le premier cours de chimie comme complément indispensable de la médecine et de la pharmacie.

Dans le onzième chapitre consacré aux XVIIe et XVIIIe siècles jusqu'à la Révolution, l'auteur nous apprend que le 23 juillet 1648, à 6 heures du matin, fut ouvert, au Jardin royal, le premier cours de chimie par William Davisson, écossais d'origine, conseiller et médecin du Roi et en même temps directeur du Jardin royal des Plantes médicinales ; mais son influence fut nulle ainsi que celle de plusieurs de ses successeurs jusqu'à la nomination, en 1744, au poste de démonstrateur au Jardin royal, de Hilaire Marin Rouell, né à Mathieu, près de Caen, en 1703. L'enseignement de ce dernier eut un succès triomphal, comme en témoignent les neuf volumes qu'il a écrits sur la chimie. Lavoisier et Diderot furent au nombre de ses élèves. C'est à partir de cette époque que la chimie fit réellement des progrès rapides. — B. C.

[1] Un volume, format 18 cm × 13 cm, de 208 pages, 28 figures, édité par Chimie et Industrie, 49, rue des Mathurins, Paris.(8e). Prix : broché, 8 fr.

Bibliographie : Einführung in die Komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben (Introduction à l'application de la résolution par les nombres complexes des problèmes du courant alternatif), par Ludwig Casper [1]. — Dans les cent-vingt pages que constituent cet ouvrage sont exposées sous une forme simple les règles du calcul à l'aide des nombres complexes et de nombreuses applications à la résolution des problèmes en courant alternatif.

L'auteur définit d'abord les vecteurs et les diagrammes vectoriels ; il montre ensuite comment un vecteur peut être représenté algébriquement par un nombre complexe. En ce qui concerne les exemples d'application, ils sont empruntés aux problèmes classiques : pont de Wheatstone, dispositifs Boucherot de condensateurs et d'inductances, ligne en T et ligne en Π, moteur asynchrone. — A. C.

[1] Un volume, format 21 cm × 14 cm, de 122 pages, avec 42 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, Berlin, W. 9. Prix : broché, 6,60 marks.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Surtensions dans les transformateurs : Propagation des ondes de l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire

Faisant suite à ses études expérimentales sur les surtensions dans les transformateurs (*), l'auteur s'est proposé de rechercher comment peuvent se transmettre les ondes de haute fréquence d'un enroulement vers l'autre. Les expériences dont il rend compte montrent que ces ondes se propagent par capacité et peuvent se trouver amplifiées dans l'enroulement induit par un phénomène de résonance dont le mécanisme s'explique grâce à la théorie maintenant bien établie de la propagation des ondes dans les enroulements.

I. **Introduction.** — Les moyens d'investigation dont disposent depuis quelques années les laboratoires d'électrotechnique ont permis d'aborder par la méthode expérimentale l'étude de la propagation des ondes dans les enroulements des transformateurs et, grâce à de nombreuses études entreprises de différents côtés, et auxquelles il nous a été donné de contribuer dans une modeste mesure (1), on peut aujourd'hui affirmer sans témérité que ce problème est résolu dans ses grandes lignes.

Il n'en reste pas moins que de nombreux détails sont encore à élucider et que ce sujet doit susciter beaucoup de nouvelles recherches ; l'une des plus utiles est probablement celle relative à la transmission des surtensions du primaire vers le secondaire, et vice-versa.

S'il est vrai en effet que le plus grand nombre des avaries internes imputables aux surtensions se produisent dans l'enroulement directement connecté au réseau qui constitue la source d'ondes parasites, l'expérience montre bien souvent qu'un régime transitoire ayant son origine du côté de l'enroulement primaire peut engendrer des surtensions dont l'effet se manifeste vers l'enroulement secondaire. On peut citer à cet égard l'exemple des transformateurs qui servent aux essais diélectriques, aux essais de câbles en particulier ; au moment du percement du diélectrique branché aux bornes de l'enroulement primaire, l'enroulement à basse tension est fréquemment le siège de violentes surtensions capables d'endommager, sinon le transformateur lui-même, du moins les canalisations qui l'alimentent ou les appareils branchés à proximité sur le même réseau.

L'étude expérimentale dont il est rendu compte dans cette note a eu pour but d'élucider une partie de ce nouveau problème.

II. **Méthode de recherche.** — Le but que nous avons poursuivi est de mesurer ce que l'on peut appeler le « rapport de transformation apparent » d'un transformateur en fonction de la fréquence, c'est-à-dire le rapport entre l'amplitude des ondes appliquées à l'enroulement primaire et l'amplitude des ondes induites au secondaire. Ce rapport de transformation apparent peut être utilement comparé au rapport de transformation réel, en appelant ainsi le rapport du nombre de spires ou, ce qui revient pratiquement au même, le rapport de transformation à vide pour de très basses fréquences.

La méthode expérimentale que nous avons adoptée est largement inspirée de celle que nous avons déjà utilisée lors de l'étude de la propagation des ondes dans les enroulements. Toutefois, tandis que nous avions conduit nos expériences précédentes en utilisant les ondes entretenues, il s'est révélé plus commode pour cette nouvelle étude d'utiliser des ondes amorties. Il est effectivement assez difficile de produire sans un équipement spécial des ondes de haute fréquence entretenues si l'on veut obtenir les hautes tensions et les

(*) J. Fallou ; Contribution expérimentale à l'étude des surtensions dans les transformateurs. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, mars 1926, t. VI (4e série), p. 237-264 ; résumé dans la *Revue générale de l'Électricité*, 27 novembre 1926, t. XX, p. 772-780.

J. Fallou ; Nouvelle contribution expérimentale à l'étude des surtensions dans les transformateurs. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, novembre 1926, t. VI (4e série), p. 1 245-1 269.

J. Fallou ; A propos de certaines surtensions dues aux arcs et de leurs effets sur les enroulements des transformateurs. *Revue générale de l'Electricité*, 26 février 1927, t. XXI, p. 323-326.

J. Fallou ; A propos des surtensions de résonance engendrées par des ondes transitoires dans les transformateurs. *Revue générale de l'Electricité*, 28 mai 1927, t. XXI, p. 853-864.

(2) Voir une bibliographie et le résumé de ces études dans « Surtensions dans les transformateurs et essais aux ondes à front raide ». *Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension*, 1927, t. I, p. 201.

puissances relativement élevées nécessaires pour ces expériences, tandis qu'il est extrêmement aisé de se procurer dans les mêmes conditions des ondes sinusoïdales amorties.

La figure 1 montre le schéma général de l'installation adoptée : T_1 est le transformateur essayé, H_1 et B_1 étant respectivement ses enroulements primaire (haute tension) et secondaire (basse tension) ; aux bornes du

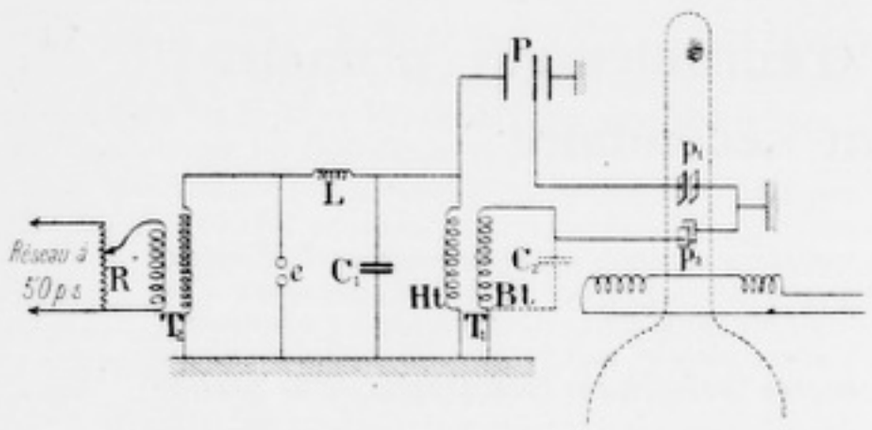


Fig. 1. — Schéma de montage pour l'étude de la propagation d'une onde sinusoïdale amortie du primaire vers le secondaire d'un transformateur : T_1, transformateur étudié ; H_1, enroulement à haute tension ; B_1, enroulement à basse tension ; C_1, condensateur ; L, bobine de self-inductance ; e, éclateur tournant ; T_2, transformateur d'alimentation ; R, rhéostat de réglage ; P, réducteur de tension potentiométrique ; p_1 et p_2, plateaux de l'oscillographe cathodique ; C_2, condensateur branché au cours de certaines mesures.

primaire est branché un circuit oscillant comprenant un condensateur C_1, une bobine d'inductance L et un éclateur tournant e ; l'ensemble est alimenté par un transformateur T_2 relié au réseau par un dispositif de réglage de la tension R.

Pour atteindre de très hautes fréquences, le condensateur additionnel C_1 devient inutile et l'enroulement à haute tension se comporte comme une capacité pure, suffisante pour constituer avec l'inductance L un circuit de décharge oscillante. Les tensions engendrées au primaire et au secondaire du transformateur T_1 par la décharge du condensateur sont enregistrées simultanément sur la plaque sensible d'un oscillographe cathodique Dufour ; à cet effet, les bornes de l'enroulement primaire sont reliées à une paire de plateaux parallèles p_1 par l'intermédiaire d'un réducteur potentiométrique P constitué par des condensateurs à air, tandis que l'enroulement secondaire est directement relié à une seconde paire de plateaux parallèles p_2 dont les plans sont perpendiculaires à ceux des plateaux p_1.

Le mode opératoire est le suivant : on ferme le transformateur T_2 sur le réseau d'alimentation et on règle le potentiomètre R jusqu'à ce que l'éclateur e commence à fonctionner. Chaque décharge du condensateur produit alors aux bornes primaires du transformateur essayé un train d'oscillations dont la fréquence peut être contrôlée soit avec un ondemètre, soit par un relevé oscillographique préalable. La tension aux bornes du primaire imprime donc à la tache cathodique de l'oscillographe, suivant un axe perpendiculaire aux plateaux p_1, un déplacement

$$x = Ae^{-\alpha t} \cos \omega t.$$

La tension induite aux bornes du secondaire imprime simultanément à la même tache cathodique un déplacement suivant un axe perpendiculaire au premier ; si cette tension est de même fréquence que la tension du primaire et si l'on néglige la période d'établissement, ce déplacement peut s'écrire

$$y = Be^{-\beta t} \cos (\omega t - \varphi).$$

La tache cathodique décrit ainsi sur la plaque sensible une figure complexe (fig. 2) ; si l'amortissement

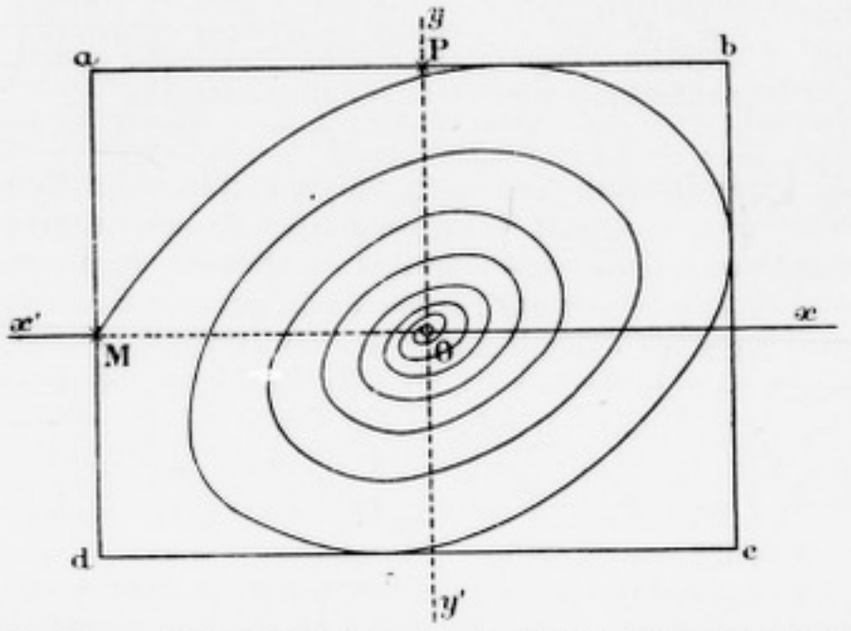


Fig. 2. — Tracé théorique de la figure inscrite sur la plaque sensible de l'oscillographe monté comme l'indique la figure 1.

n'est pas trop élevé, on peut confondre chaque partie de la figure décrite pendant une période avec l'ellipse d'équation

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$$

et tracer le rectangle abcd enveloppant cette ellipse.

Si alors ab est le côté de ce rectangle parallèle à l'axe des x (perpendiculaire aux plateaux p_1) et si bc est le côté du même rectangle parallèle à l'axe des y (perpendiculaire aux plateaux p_2), le rapport de transformation apparent du transformateur à la fréquence considérée est sensiblement

$$X = K \frac{bc}{ab},$$

K étant un facteur de proportionnalité déterminé expérimentalement une fois pour toutes, et qui dépend du rapport de transformation du potentiomètre P, de la dimension respective des plateaux p_1 et p_2, etc.

On peut de même se servir de la figure pour déterminer l'angle de phase φ entre la tension primaire et la tension secondaire.

Dans le cas où les tensions primaires et secondaires ne sont pas de même fréquence ou si l'amortissement est élevé, la figure devient beaucoup plus difficile à interpréter : elle permet néanmoins de déterminer encore le rapport de l'amplitude de la tension primaire à celle de la tension secondaire, en prenant le rapport des élongations maxima $\frac{OM}{OP}$ (fig. 2).

La figure 3 est un spécimen d'oscillogramme, relevé à la fréquence de 250 000 p : s. Pour éviter le voile de

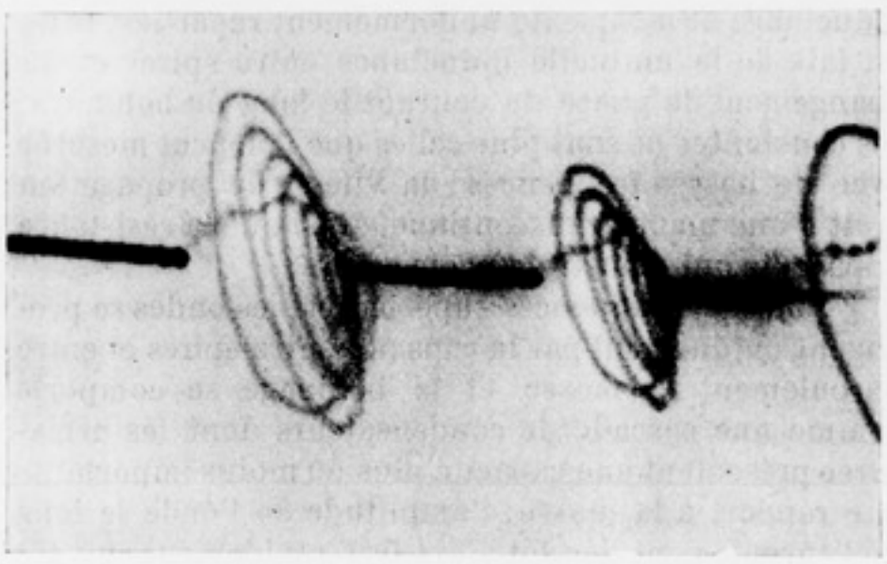


Fig. 3. — Spécimen de tracé photographique obtenu à la fréquence de 250 000 p : s.

la plaque par le faisceau cathodique avant et après l'enregistrement du régime transitoire, ce rayon est balayé de gauche à droite par un champ magnétique variable auxiliaire : c'est à ce balayage que l'on doit les légers décalages successifs des différentes ellipses les unes par rapport aux autres.

III. **Résultats d'expérience.** — 1. Essais sur un transformateur de 25 kilovolts-ampères. — Les premiers essais ont porté sur un transformateur de 25 kv-a dont le primaire est prévu pour une tension de service de 12 000 v et le secondaire, pour 220 v. Les constantes de l'enroulement secondaire, mesurées à une fréquence élevée, sont les suivantes :

Capacité de tout l'enroulement par rapport à la masse et à l'enroulement primaire dont une borne est reliée à la masse

$$\gamma = 1{,}19 \times 10^{-3} \text{ microfarad};$$

self-inductance de tout l'enroulement (à la fréquence de 90 000 p : s)

$$\lambda = 0{,}38 \text{ millihenry}.$$

Le rapport de transformation vrai (à la fréquence de 50 p : s) est 0,0183 ; le rapport de transformation apparent mesuré entre 60 000 p : s et 500 000 p : s est donné par le graphique de la figure 4.

On voit que ce rapport passe par un maximum voisin de 0,26 pour une fréquence d'environ 365 000 p : s : le rapport de transformation apparent est alors 14 fois plus élevé que le rapport de transformation vrai. D'autre part, l'expérience montre que l'angle de phase entre les tensions du primaire et du secondaire décroît jusqu'à zéro lorsque la fréquence augmente, en passant par 90° pour la fréquence de 365 000 p : s pour laquelle le rapport de transformation apparent est maximum.

Ce maximum correspond donc à une résonance de l'enroulement secondaire pour la fréquence de 365 000 p : s : on constate en effet que la fréquence d'oscillation libre en quart d'onde de l'enroulement secondaire est

$$f = \frac{1}{4\sqrt{\lambda\gamma}} = 370\,000 \text{ p : s}.$$

2. Essais sur un transformateur de potentiel 15 000/110 volts. — Des essais identiques ont été répétés sur un transformateur de potentiel de 15 000/110 v (rapport de transformation vrai, 0,00733) dont les caractéristiques sont :

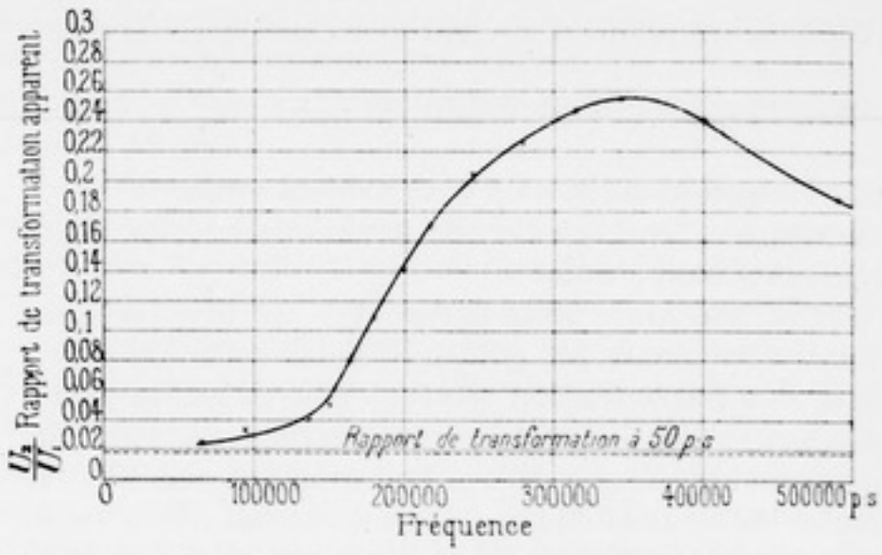


Fig. 4. — Courbe du rapport de transformation apparent d'un transformataur de 25 kv-a, 12 000/220 v, en fonction de la fréquence de l'oscillation appliquée aux bornes de l'enroulement à haute tension.

Capacité totale du secondaire par rapport à la masse, le primaire ayant une borne à la masse,

$$\gamma = 0{,}65 \times 10^{-3} \text{ microfarad};$$

self-inductance totale du secondaire

$$\lambda = 0{,}275 \text{ millihenry};$$

fréquence d'oscillation libre en quart d'onde

$$f = \frac{1}{4\sqrt{\lambda\gamma}} = 612\,000 \text{ p : s}.$$

Ces essais conduisent à des résultats analogues à ceux qui ont été obtenus avec le transformateur de

25 kv-A : le rapport de transformation apparent croît avec la fréquence pour atteindre 0,4 (soit environ 55 fois le rapport de transformation vrai) pour la fréquence de 630 000 p : s et décroît ensuite ; ce maximum s'accompagne d'un déphasage de 90° entre les tensions aux bornes du primaire et du secondaire.

En fermant l'enroulement secondaire sur un condensateur C_2 de capacité variable (fig. 1), on obtient des courbes analogues, mais la fréquence de résonance diminue, ainsi d'ailleurs que le facteur de surtension. On peut d'ailleurs vérifier sans difficulté que la fréquence f correspondant à la résonance obéit à la relation classique

$$2\pi f\sqrt{\lambda\gamma}\ \mathrm{tg}\,2\pi f\sqrt{\lambda\gamma}=\frac{\gamma}{C_2},$$

λ et γ étant respectivement la self-inductance et la capacité totale du secondaire, et C_2, la capacité additionnelle branchée aux bornes. Cette relation devient d'ailleurs

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{\lambda C_2}},$$

dès que la fréquence f devient assez petite vis-à-vis de la fréquence propre fondamentale $f_0=\frac{1}{4\sqrt{\lambda\gamma}}$ pour que l'on puisse confondre $2\pi f\sqrt{\lambda\gamma}$ avec sa tangente.

Remarque. — Lors de ces expériences, deux faits importants sont à noter :

1° Les mesures précédentes ont été effectuées en reliant à la masse les extrémités des enroulements à haute et à basse tension situées vis-à-vis sur la même colonne ; si l'on inverse les connexions de l'un des enroulements, c'est-à-dire si l'on relie à la masse l'extrémité de l'enroulement à basse tension située vis-à-vis de la borne libre de la haute tension, on constate le même effet de résonance, et pour la même fréquence, mais le rapport de transformation apparent se trouve considérablement réduit ;

2° Lorsqu'on relève à l'oscillographe la tension de l'enroulement à basse tension en fonction du temps, on constate que la fréquence des oscillations induites est égale à la fréquence des oscillations provoquées du côté de la haute tension, tant que cette fréquence est faible vis-à-vis de la fréquence propre de l'enroulement à basse tension ; mais dès que l'on aborde la partie ascendante de la courbe de résonance, et même si l'on dépasse de beaucoup le point de résonance, la fréquence constatée au secondaire reste constante et égale à la fréquence propre de l'enroulement secondaire.

IV. **Interprétation des résultats**. — Ces différents résultats se laissent interpréter assez facilement si l'on tient compte des connaissances acquises en ce qui concerne la manière dont se comporte un enroulement de transformateur vis-à-vis des ondes de diverses fréquences.

On sait en effet que pour un enroulement donné il existe diverses zones de fréquence pour lesquelles le mode de fonctionnement est le suivant :

1° dans une première zone comprenant les plus basses fréquences jusqu'à celle de l'oscillation propre de l'enroulement, telle qu'on peut le prédéterminer par des mesures indirectes de self-inductance et de capacité, l'enroulement se comporte comme une ligne à constantes uniformément réparties ; elle peut osciller librement (en quart d'onde ou en demi-onde suivant le mode de connexion) et entrer en résonance si l'oscillation incidente est de fréquence convenable ;

2° dans une zone de fréquence plus élevée, l'enroulement se comporte encore comme un système à self-inductance et à capacité uniformément réparties, mais du fait de la mutuelle inductance entre spires et du changement de phase du courant le long du bobinage, ces constantes ne sont plus celles que l'on peut mesurer avec de basses fréquences ; la vitesse de propagation croît d'une manière discontinue, ainsi que la résistance apparente qui amortit la propagation ;

3° pour des fréquences supérieures, les ondes se propagent uniquement par la capacité entre spires et entre enroulement et masse et le bobinage se comporte comme une cascade de condensateurs dont les armatures présentent une capacité plus ou moins importante par rapport à la masse ; l'amplitude de l'onde le long de l'enroulement décroît alors très rapidement suivant une loi hyperbolique, de sorte que toute la tension incidente semble concentrée dans les premières spires. Dans cette zone de fréquences supérieures, l'enroulement, associé à une inductance extérieure de dimensions convenables, peut constituer le condensateur d'un circuit oscillant.

Ces phénomènes généraux peuvent être vérifiés sur les appareils de types les plus divers ; toutefois, les valeurs des fréquences constituant ces différentes zones sont extrêmement variables suivant la constitution de l'enroulement. Pour les enroulements comportant un très grand nombre de spires sous un volume relativement réduit, tels que les bobinages à très haute tension des transformateurs de faible puissance (transformateurs d'essais, transformateurs de potentiel), les fréquences constituant la première zone ne dépassent pas quelques milliers, voire quelques centaines de périodes par seconde, tandis que les fréquences constituant la troisième zone peuvent commencer vers 15 000 ou 20 000 p : s. Au contraire, pour les enroulements comportant un petit nombre de spires sous un volume relativement grand, tels que les bobinages à haute tension des appareils de grande puissance ou même les bobinages à basse tension des appareils de petite puissance, les fréquences constituant la première zone peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers de périodes par seconde.

On conçoit dès lors que, dans les appareills à grand rapport de transformation, l'enroulement à basse tension fonctionne encore dans la première zone, c'est-à-dire se comporte comme un système à self-inductance

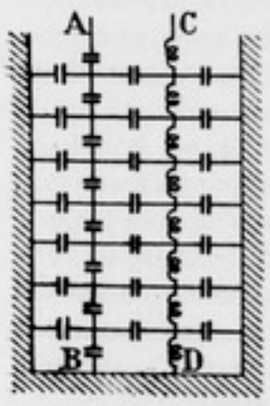
et capacité uniformément réparties et capable d'oscillations propres, et cela, à des fréquences pour lesquelles l'enroulement à haute tension fonctionne déjà dans la troisième zone, c'est-à-dire se comporte comme une chaîne de condensateurs.

En fait, nous avons vérifié que pour le transformateur de 25 kv-a à 12000 v spécifié plus haut, l'enroulement à haute tension se comporte comme un système de condensateurs dès que la fréquence de l'onde incidente atteint 150000 p:s, tandis que son enroulement à basse tension oscille en quart d'onde comme un système à constantes réparties à la fréquence de 370000 p:s. Les fréquences constituant la troisième zone pour l'enroulement à basse tension n'ont pas été mesurées, mais on peut se rendre compte par des expériences, dont l'exposé nous ferait sortir du cadre de cet article, que cette troisième zone existe effectivement.

En ce qui concerne le transformateur de potentiel, la troisième zone comprend, pour l'enroulement à haute tension, toutes les fréquences supérieures à 20000 p:s, tandis que l'enroulement à basse tension oscille librement, par sa capacité et sa self-inductance propres, à la fréquence de 670000 p:s.

Dès lors les expériences précédentes trouvent une interprétation facile :

Dans la limite des fréquences explorées, l'enroulement à haute tension du transformateur peut être schématisé (fig. 5) par une chaîne de condensateurs AB, et l'enroulement à basse tension, par une ligne à self-inductance et capacité réparties CD. Lorsqu'une oscil-



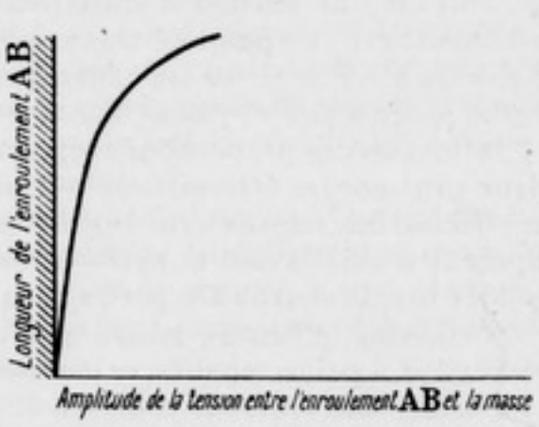


Fig. 5. — Schéma équivalent du transformateur en haute fréquence; AB, enroulement à haute tension; CD, enroulement à basse tension. — Fig. 6. Courbe de répartition du potentiel le long de l'enroulement AB de la figure 5.

lation de haute fréquence traverse le circuit à haute tension AB, l'amplitude de la différence de potentiel entre ce circuit et la masse s'établit sensiblement comme l'indique la figure 6, la plus grande partie de la tension étant localisée dans les premiers éléments. L'enroulement à basse tension CD, couplé par capacité avec le circuit AB, est excité et, si la fréquence de l'oscillation incidente atteint la valeur critique, ce circuit CD entre en résonance.

La forme de la courbe de répartition du potentiel le long de AB explique immédiatement la première remarque formulée plus haut, à savoir que l'amplitude de la tension induite aux bornes du secondaire CD se trouve réduite si, au lieu de relier D à la masse et de laisser libre l'extrémité C, on met au contraire l'extrémité C à la masse en laissant libre l'extrémité D.

Ce schéma et la courbe de la figure 6 expliquent aussi la seconde remarque d'après laquelle la fréquence de la tension induite aux bornes du secondaire CD devient indépendante de la fréquence de l'onde qui traverse AB, et reste égale à la fréquence d'oscillation libre du circuit CD. C'est qu'en dépit de leur proximité les circuits AB et CD sont faiblement couplés entre eux, et, lorsqu'on applique aux bornes de AB des ondes de très haute fréquence rapidement amorties, ce circuit excite par choc l'enroulement CD, sans qu'il y ait de réaction sensible du circuit inducteur sur le circuit induit et vice-versa.

V. **Conclusions**. — Les expériences dont nous venons de rendre compte semblent expliquer d'une manière satisfaisante la production de surtensions primaires de certains transformateurs, constatée maintes fois, en particulier dans les laboratoires utilisant des appareils d'essais diélectriques à grand rapport de transformation.

Il semble aussi que l'explication de ces phénomènes permette d'en trouver un remède efficace : la propagation des ondes d'un enroulement sur l'autre s'effectuant par capacité, il suffit d'annuler cet effet en intercalant entre ces enroulements un écran électrostatique relié à la masse, comme le font d'ailleurs depuis longtemps certains constructeurs. Cet écran peut être constitué par un cylindre conducteur, un cylindre isolant métallisé, par exemple, fendu suivant une génératrice et connecté à la masse de l'appareil près de l'entrée des enroulements. Cet écran a, par ailleurs, pour effet d'éviter tout contact direct entre les enroulements à haute et à basse tension, accident qui se produit fréquemment et dont les conséquences sont parfois désastreuses. Comme nous l'avons indiqué dans un brevet récent, on aura donc avantage à effectuer la connexion à la masse de cet écran par l'intermédiaire d'un relais ampèremétrique, chargé d'actionner le ou les disjoncteurs du transformateur; mais pour garder à l'écran toute son efficacité contre la propagation de haute fréquence entre les enroulements, il sera bon de shunter par un condensateur l'enroulement du relais qui présente souvent une inductance relativement élevée.

Quoi qu'il en soit, les expériences relatées ici constituent, semble-t-il, une intéressante confirmation de la théorie de la propagation des ondes dans les enroulements, telle que les précédentes investigations ont permis de l'établir.

J. Fallou.

Revues, analyses et informations

Moyen de prévenir l'ionisation dans les diélectriques au papier imprégné (1).

1. Introduction. — Les condensateurs isolés au papier, très répandus en Angleterre sur les circuits à courant alternatif à 600 v, n'ont pas donné grande satisfaction. Les constructeurs ont constaté que nombre de percements se produisent après un ou deux ans de service et que, dans chaque cas, les symptômes sont à peu près les mêmes. Tous ces insuccès se sont manifestés en dépit des épreuves sévères subies par les appareils avant leur mise en place et il ne semble pas exister de relation entre l'essai avant l'installation et la durée de vie d'un condensateur. Or, les mêmes remarques ont été faites à propos des câbles à haute tension.

Si l'on mesure le facteur de puissance d'un câble à haute tension pour des tensions appliquées croissantes, on remarque que les pertes augmentent très vite aussitôt que l'on dépasse une certaine tension qui, pour cette raison, a été appelée tension critique ou « tension d'ionisation » et l'on a implicitement admis qu'il ne peut y avoir ionisation de l'air occlus dans le câble tant que ce dernier est soumis à une tension inférieure à cette tension d'ionisation.

L'auteur se propose de montrer que cette hypothèse n'est pas tout à fait exacte. Quand la proportion d'air occlus est faible par rapport au reste du diélectrique, il faut que les pertes dans la masse d'air aient atteint une valeur extrêmement élevée avant de pouvoir être décelées par les instruments de mesure qui, du reste, ne donnent qu'un facteur de puissance moyen intéressant tout l'ensemble du diélectrique. On peut dépasser de beaucoup la tension d'ionisation sans parvenir à remarquer avec certitude un accroissement du facteur de puissance. C'est ce que l'auteur tend à prouver par les expériences décrites ci-dessous.

2. Relation entre la tension d'ionisation et la quantité d'air. — La figure 1 représente une section de diélectrique contenant une bulle d'air; l'ensemble décomposé en condensateurs donne le schéma de la figure 2 sur laquelle C_1 et C_2

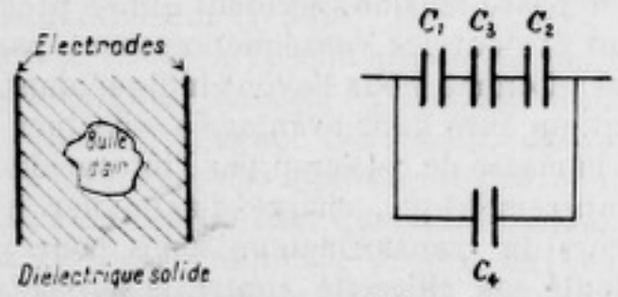


Fig. 1 et 2. — Coupe à travers un diélectrique contenant une bulle d'air et décomposition de la section en condensateurs élémentaires.

désignent les capacités des condensateurs élémentaires existant de chaque côté de la bulle; C_3, la capacité de la bulle et C_4, en dérivation sur les autres, la capacité de tout le reste du diélectrique qui, par hypothèse, ne contient aucune bulle.

On fait varier C_4 dans de larges limites, *ce qui revient à rendre la quantité d'air de plus en plus faible par rapport à l'ensemble du diélectrique* et, si l'hypothèse admise plus haut est exacte, on devra trouver des pertes plus fortes pour les valeurs inférieures de C_4 et plus petites à mesure qu'on augmentera C_4 jusqu'à un point où la proportion de diélectrique l'emportera tellement sur la proportion d'air que l'on ne constatera plus de pertes. C'est bien ce que confirment les essais réalisés dont les résultats sont exprimés sous forme graphique en figure 3. On voit que, pour

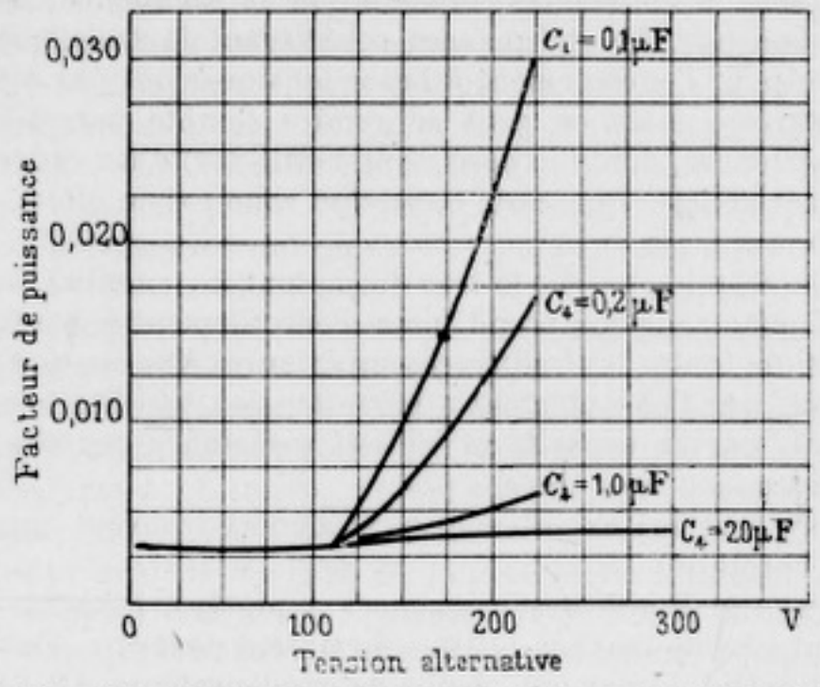


Fig. 3. — Caractéristique du facteur de puissance en fonction de la tension montrant que la tension d'ionisation augmente en même temps que la capacité C_4.

$C_4 = 0{,}1$ µF, la tension d'ionisation (tension efficace) est nettement 110 v; pour $C_4 = 1{,}0$ µF, elle est de 130 v; tandis qu'à $C_4 = 20$ µF ne correspond aucun coude de la courbe jusqu'à 300 v, valeur limite des essais.

L'influence des proportions respectives d'air et de diélectrique peut encore être mise en évidence d'une autre façon. On effectue des mesures sur un condensateur à diélectrique imprégné d'huile avant et après extraction de l'air; dans le premier cas, la courbe des pertes accuse un coude très net à 350 v (tension efficace), tandis que, dans le second cas, un relèvement à peine sensible se manifeste à 700 v seulement.

Ce serait une faute de conclure de ces essais que le condensateur pourrait être utilisé sur un circuit à courant alternatif à 500 v, car une caractéristique horizontale du facteur de puissance en fonction de la tension n'implique pas nécessairement qu'il n'y a pas ionisation.

Ces expériences préliminaires nous apprennent donc que, pour avoir une idée exacte du régime électrique d'un diélectrique, il est préférable de l'étudier après y avoir incorporé délibérément autant d'air que possible afin que l'effet d'ionisation ne soit pas masqué par l'excès de diélectrique, puis de rechercher s'il n'existe pas un moyen d'empêcher complètement l'ionisation.

La nécessité de purger d'air les condensateurs est encore mise en évidence par les expériences suivantes. On fabrique des condensateurs au papier en insérant le diélectrique à étudier entre deux feuillets métalliques servant d'électrodes; le tout est séché à cœur, puis trempé dans de l'huile sèche ne contenant aucune trace d'humidité. Un appareil de ce genre a été soumis, pendant 600 mn, à une tension

(1) S.-G. Brown. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, août 1929, t. LXVII, p. 968-976, 6 300 mots, 16 figures. Discussion, p. 977-991, 13 800 mots, 10 figures.

alternative de 600 v, 50 p:s ; sa résistance d'isolement est tombée de 9000 à 750 mégohms ; son facteur de puissance est passé de 0,0025 à 0,015.

Les courbes de la figure 4 sont particulièrement instructives. Elles se réfèrent respectivement : A, à un condensateur ordinaire non purgé d'air, tel qu'on les construit pour les circuits à courant alternatif à 600 v ; il a subi cette tension à la fréquence de 50 p:s pendant quinze jours ; B, à un condensateur de même fabrication que A, mais purgé d'air et soumis pendant dix-huit mois au même régime électrique ; C, à un condensateur identique aux précédents, mais neuf et purgé d'air. On voit que le condensateur A a plus souffert en quinze heures que le condensateur B en dix-huit mois.

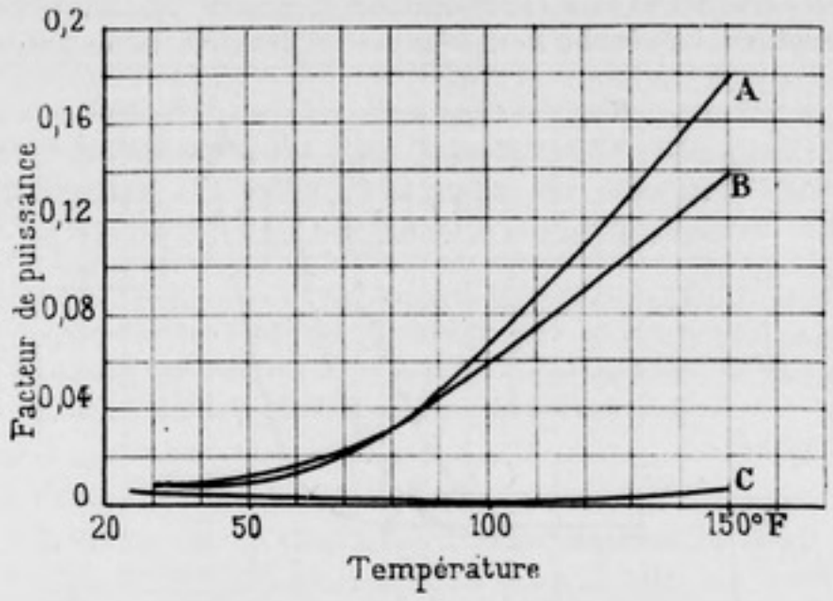


Fig. 4. — Caractéristiques du facteur de puissance en fonction de la température de trois condensateurs ordinaires A, B, C non purgés et purgés d'air.

3. Expériences montrant les variations de l'ionisation en fonction de l'épaisseur du diélectrique. — Ici encore, le diélectrique est constitué par du papier huilé compris entre deux feuilles de métal. On en superposait plusieurs couches de façon à réaliser des condensateurs ayant une capacité de 0,5 μF. L'air n'était pas extrait.

Les courbes indiquent que la tension d'ionisation n'est pas proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique, mais croît lentement, de sorte que, pour arriver à une tension où l'ionisation soit sensible, il faut donner au diélectrique une épaisseur considérable.

On en déduit que, si le diélectrique peut être réparti en un certain nombre de condensateurs élémentaires couplés en série, la tension d'ionisation sera plus élevée que celle d'un diélectrique uniforme de même épaisseur.

Cette conclusion est nettement vérifiée par l'expérience qui a été réalisée avec trois condensateurs : A, condensateur simple avec diélectrique de 0,0254 mm (1 mil) d'épaisseur, tension d'ionisation 300 v ; B, condensateur simple avec diélectrique de 0,0508 mm (2 mils) d'épaisseur, tension d'ionisation 350 v ; C, condensateur formé par le couplage en série de deux éléments A, avec diélectrique de 0,0508 mm (2 mils) d'épaisseur, tension d'ionisation 650 v. La disposition C présente donc un avantage énorme sur la disposition B.

4. Tension d'étincelle de l'air. — L'auteur rappelle ensuite quelques résultats obtenus antérieurement sur la tension d'étincelle de l'air, car, dit-il, « la signification des résultats apparaitra plus clairement si l'on considère les propriétés électriques de couches d'air de faible épaisseur ».

Or, on sait que, si l'on amincit progressivement la pellicule d'air comprise entre deux plateaux parallèles, la tension d'étincelle décroît aussi *jusqu'à une épaisseur critique pour laquelle la tension d'étincelle est minimum*, c'est-à-dire que, si l'on donne aux plateaux un écartement inférieur à l'épaisseur critique, la tension d'étincelle augmente.

Cette tension minimum d'étincelle est indépendante de la pression du gaz, mais l'épaisseur varie en raison inverse de la pression (pe = constante, loi de Paschen). La tension critique de l'air à la pression atmosphérique est environ 330 v en courant continu et 250 v en courant alternatif (tension efficace).

Dans la plupart des diélectriques au papier, les pellicules d'air ont une épaisseur qui ne diffère pas beaucoup de l'épaisseur critique, qui est de 0,0064 mm (0,25 mil) à la pression atmosphérique. Aussi, en doublant l'épaisseur du diélectrique, on modifie à peine la tension d'étincelle : 250 v pour e = 0,0064 mm (0,25 mil) ; 260 v pour e = 0,0128 mm (0,5 mil) ; mais, si avec cette dernière épaisseur de diélectrique on constitue deux condensateurs élémentaires que l'on couple ensuite en série, chaque élément exigeant 250 v, cela fait en tout 500 v (tension efficace) : ce résultat est bien conforme à ceux que l'on a déjà signalés ci-dessus.

L'auteur essaye ensuite d'expliquer quelle signification il attribue au terme « ionisation » qui n'a pas ici le même sens que dans la physique des ions.

Si l'on se reporte à la figure 1, on a dit qu'il ne pouvait y avoir de décharge à travers la bulle d'air que pour une tension minimum de 330 v (courant continu) ; au-dessous de cette tension, l'air se comporte comme un diélectrique parfait ; au-dessus, il prend l'état conducteur ; mais, en fait, cet air est séparé des électrodes par une couche de diélectrique solide, qui, pour le moment, peut être considérée aussi comme un isolant parfait et sa présence autour de la bulle change du tout au tout le régime électrique de cette dernière. En effet, si au système de la figure 2 on applique une tension continue suffisante pour amener la bulle à l'état conducteur, quand la charge est terminée, aucun courant ne peut plus traverser le condensateur de capacité C_3 puisque le courant est nul dans les condensateurs de capacités C_1 et C_2.

Donc, en courant continu, la présence de bulles d'air dans les diélectriques n'a pas d'inconvénients puisqu'il n'y a aucune énergie dépensée dans la bulle et, partant, aucune action thermique ou chimique n'est possible.

Le résultat est tout à fait différent en courant alternatif ; car, dans ce cas, il y a toujours un courant qui traverse C_1 et C_2 et, par suite, aussi C_3 sous forme de décharge dans le gaz ; il se manifeste des réactions chimiques ainsi que des échauffements localisés. Il se forme du gaz en quantité de plus en plus grande ; la bulle se dilate et l'action destructive est accélérée. Les mêmes phénomènes se reproduisent à peu près avec une tension ondulée.

Par conséquent, l'expression « tension d'ionisation » a été employée pour définir la tension à laquelle les bulles d'air acquièrent l'état conducteur, bien que les effets de ce dernier ne puissent être décelés que dans des conditions particulières.

Quant au dommage réel causé au diélectrique, il semble probable, toutes choses égales d'ailleurs, qu'il est proportionnel à la quantité d'énergie qui traverse le diélectrique et qu'il est d'autant plus marqué que la tension appliquée dépasse davantage la tension d'ionisation et que la fréquence est plus élevée.

5. Conclusions. — Il faut maintenant dégager la répercussion que ces expériences peuvent avoir sur les conditions

qui régissent actuellement la construction des appareils contenant une substance diélectrique.

Si le diélectrique renferme de l'air, il n'est pas possible d'empêcher l'ionisation à moins d'augmenter l'épaisseur de l'isolant jusqu'à des limites prohibitives; en d'autres termes, c'est la tension absolue plutôt que le gradient de la tension qui constitue le facteur déterminant. Ceci est démontré par les condensateurs B et C cités plus haut, qui sont caractérisés par un même gradient, mais dont le premier n'a pu supporter une tension de 350 v alors que le second n'a laissé paraitre des traces d'ionisation que vers 650 v.

Il est donc absolument impossible de prévoir, d'après la seule valeur du gradient de potentiel, si un diélectrique tiendra ou non, alors que, d'après les résultats exposés ci-dessus, des pronostics valables peuvent toujours être déduits de la connaissance de la tension absolue.

Aussi, pour constituer un diélectrique susceptible de supporter une tension déterminée, il faut que ce diélectrique soit formé d'un certain nombre de sections élémentaires en série, d'épaisseur telle que la tension appliquée à chacune d'elles ne dépasse pas la tension d'ionisation (300 v pour l'air à la pression atmosphérique); mais l'épaissseur des sections élémentaires dépend aussi de leur tension de percement, de sorte que leur épaisseur finale résultera d'un certain compromis, mais elle devra toujours donner un facteur de sécurité raisonnable au point de vue de la disrupture.

On obtiendra un effet identique à celui de deux condensateurs en série en intercalant au milieu du diélectrique une couche conductrice isolée que l'auteur appelle « interfeuille » ou « feuille de garde ». Une feuille de papier recouverte de carbone amorphe donne de bons résultats.

Tous ces principes sont également applicables à la fabrication des câbles, car on peut les diviser en un très grand nombre de sections d'égale capacité par des feuilles mételliques ou, de préférence, par des feuilles de papier recouvertes d'une pellicule de matière semi-conductrice, de telle sorte que la tension qui incombe à chacune d'elles en service soit inférieure à la tension d'ionisation.

Soit un câble ayant de l'air comme diélectrique et destiné à fonctionner à la tension efficace de 50 000 v. Pour simplifier; on admet que le conducteur central a un diamètre tel que le problème puisse être ramené à celui de deux plans; l'épaisseur d'air nécessaire pour résister à cette tension est de 2,54 cm, ce qui correspond à un gradient de 20000 v: cm.

Si le diélectrique est partagé sur la base de 250 v par unité d'épaisseur, il faudra 50000 : 250 = 200 sections en série pour supporter 50000 v; or on a vu que l'épaisseur d'air à la pression atmosphérique nécessaire pour résister à 250 v est 0,000508 cm; l'épaisseur totale est donc 200 × 0,000508 = 0,1016 cm; d'où l'on déduit que le gradient de potentiel effectif est 500000 v: cm.

La présence d'un diélectrique solide entourant l'air n'affectera pas matériellement ces calculs; il y aura seulement une tendance à exagérer les défauts du câble uniforme sans feuille de garde, puisque le gradient de la tension sera plus élevé dans la bulle d'air par le fait que l'air a un pouvoir inducteur spécifique moins élevé que celui du diélectrique solide.

Toutes ces conclusions ont été confirmées par les expériences réalisées avec 5 types de condensateurs. Il en résulte qu'il y a un avantage énorme à construire ceux qui sont destinés à la haute tension sous forme sectionnelle, puisque, dans tous les cas envisagés ci-dessus, l'épaisseur du diélectrique était la même; il faut aussi en retirer l'air autant que possible.

Remarques relatives aux surtensions et aux méthodes d'essais. — Si les surtensions ne produisent pas toujours elles-mêmes des disruptures, elles en sont souvent la cause immédiate, comme il est facile de le prouver par l'interprétation des courbes de la figure 5 qui ont été relevées de la façon suivante sur un condensateur de grande contrainte de disrupture. La courbe A représente les lectures faites à des

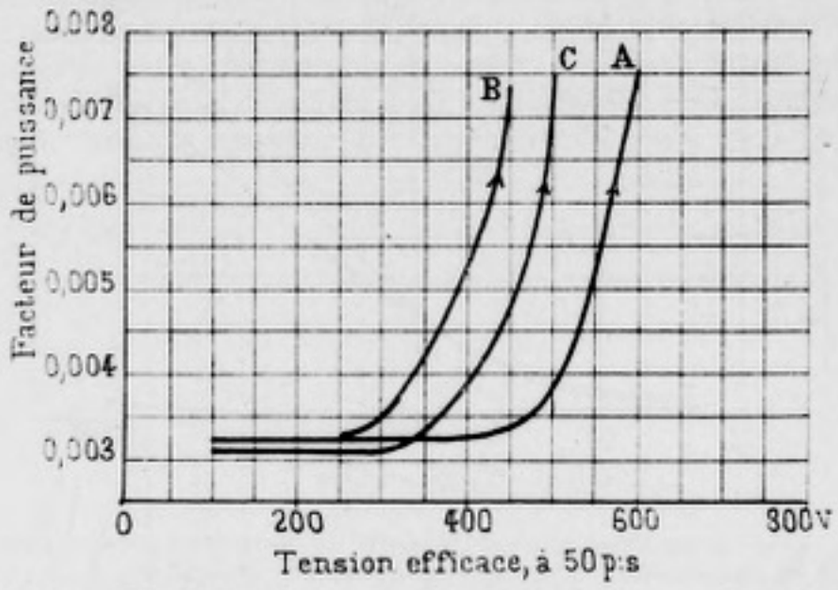


Fig. 5. — Variations du facteur de puissance d'un condensateur après trois cycles de tensions croissantes et décroissantes.

tensions croissant jusqu'à 660 v (tension efficace, fréquence 50 p : s); la courbe B correspond à des tensions décroissant de 650 à 100 v environ; enfin, la courbe C donne les valeurs du facteur de puissance quand on remonte de nouveau de 100 à 450 v. Cette dernière courbe s'est reproduite identique au bout de 10 et 30 mn.

Cet appareil installé sur un circuit alternatif à 450 v, aurait, au début, un très bon facteur de puissance; mais, s'il venait à subir une surtension momentanée de 600 v, qui retomberait brusquement à 450 v, le facteur de puissance ne varierait plus suivant la courbe A, mais suivant la courbe B. Dès lors, le percement du condensateur ne serait plus qu'une question de temps.

La courbe A correspond à des conditions essentiellement instables; elle est destinée à être remplacée par la courbe C qui, elle, est représentative d'un régime stable et peut-être reproduite avec une grande précision. Ce sont les courbes du type C qui figurent dans le présent travail; pour y arriver, on élève la tension au-delà de la tension d'ionisation, on interrompt le courant pendant quelques minutes, puis on procède aux mesures en augmentant progressivement la tension. — B. C.

La qualité du synchronisme dans l'appareil Baudot et ses conséquences au point de vue de la vitesse de transmission (1).

L'auteur se propose dans cet article d'étudier les propriétés de synchronisme de l'appareil Baudot, de déterminer comment elles réagissent sur les conditions de son emploi et en particulier sur les limites de portée.

1. Synchronisme en local. — Supposant d'abord un distributeur correcteur et un distributeur corrigé reliés par un conducteur de longueur négligeable et transmettant les émissions électriques sans déformation, l'auteur détermine l'erreur mécanique m de synchronisme du système, dont la limite, évaluée en fraction de contact s'exprime en fonction

(1) M Bayard. *Journal télégraphique*, juin 1929, t. LIII, p. 121-126, 3000 mots, 4 figures.

du nombre n de contacts du distributeur correcteur et du nombre r des dents de la roue-étoile par

$$2m = \frac{n}{16}\left(\frac{1}{15} + \frac{1}{r}\right).$$

2. Synchronisme en ligne. — En réalité, les deux appareils sont reliés par une ligne qui déforme les signaux. En outre, en raison des résidus des signaux antérieurs et des courants parasites, la courbe qui représente la variation du courant de correction à la réception est mal définie entre deux courbes limitant une « zone d'empiètement ». La quantité δ représentant la portion interceptée sur cette zone par la droite parallèle à l'axe des temps et dont l'ordonnée est égale à l'intensité de fonctionnement du relais récepteur, est appelée « empiètement » et représente la marge totale d'incertitude sur l'instant de fonctionnement de ce relais récepteur.

Dans ces conditions, l'écart total possible dans le mouvement des balais du distributeur corrigé est

$$e_s = 2m + \delta N$$

où N est la vitesse de transmission évaluée en « bands ».

En raison de cet empiètement les émissions du début ne sont pas reçues aux instants exacts où le balai du corrigé franchit le milieu de l'intervalle de deux contacts. Il est en un point compris entre deux limites qui seraient, dans l'hypothèse du synchronisme parfait, distantes de $N\delta$, et qui, en tenant compte de l'écart de synchronisme déterminé ci-dessus, sont distantes de

$$E = e_s + N\delta.$$

Elles sont donc : $K - \frac{E}{2}$ et $K + \frac{E}{2}$, K étant une quantité qui dépend du réglage de l'orientation.

3. Condition de réception correcte. — En supposant remplie la « condition de fidélité » (correspondance entre les battements du relais de réception et les variations de la tension à l'extrémité réceptrice) la réception correcte exige que tout signal, émis sur un contact déterminé, soit enregistré sur le contact écourté suivant, et non sur les voisins. Soient donc (fig. 1) c la longueur d'un contact écourté, i l'intervalle entre deux contacts, a la longueur minimum nécessaire pour un fonctionnement sûr de l'électroaiguilleur et a',

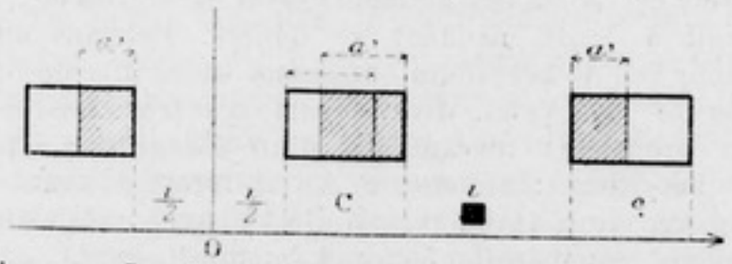


Fig. 1. — Représentation schématique de la condition de réception correcte.

celle maximum, certainement insuffisante pour que l'électroaimant soit actionné, on voit facilement que la condition de réception correcte s'exprime ainsi (en prenant pour origine le milieu de l'intervalle précédent le contact considéré) :

Ce signal doit commencer au plus tard quand le balai passe au point $\frac{i}{2} + c - a$, et finir au plus tôt quand il passe en $\frac{i}{2} + a$; en outre, pour qu'il n'y ait débordement ni dans un sens ni dans l'autre, il doit commencer au plus tôt au point $-\frac{i}{2} - a'$ et finir au plus tard au point

$$\frac{i}{2} + c + i + a'.$$

On détermine ainsi deux limites inférieures et deux limites supérieures. En posant

$$\varepsilon = a - a', \quad \varepsilon = c - (a + a'),$$

on peut voir facilement que dans, tous les cas, la différence entre les deux limites est

$$L_s - L_i = (i + c) - \varepsilon - |\varepsilon|,$$

ou encore, évaluée en fraction de contact,

$$\Delta = 1 - \frac{a - a'}{i + c} - \frac{|a + a' - c|}{i + c} = 1 - 2D,$$

D étant une quantité fonction de la constitution du distributeur et de la sensibilité des électroaiguilleurs. L'auteur donne dans l'article un tableau des valeurs de D dans quelques cas.

Si on associe la condition de réception correcte ainsi déterminée aux conditions de limites données plus haut pour le point où se produit le fonctionnement du relais récepteur, on arrive aux relations suivantes :

$$K - \frac{E}{2} \geqq L_i \quad \text{et} \quad K + \frac{E}{2} \leqq L_s,$$

qui peuvent s'écrire

$$L_s - \frac{E}{2} \geqq K \geqq L_i + \frac{E}{2}.$$

La valeur la plus favorable de K est $K = 0$. D'autre part, cette double inégalité donne aussi la condition $E < L_s - L_i$. En remplaçant ces quantités par les expressions indiquées plus haut, on déduit, qu'une ligne étant donnée, on ne peut pas parler d'une capacité de transmission N propre à la ligne sans spécifier en détail l'appareil télégraphique.

4. Expression de l'empiètement. — En désignant par θ un temps qui représente la demi-durée du phénomène transitoire dans la variation en fonction du temps de l'intensité du courant à la réception, et par u la quantité $\frac{P}{I - F}$ où P représente l'intensité maximum des courants parasites, I, celle du courant de la ligne et F, l'intensité du courant de fonctionnement du relais récepteur, l'auteur, en se référant à des travaux antérieurs, établit les expressions suivantes de l'empiètement.

Pour le cas de la correction isolée (distributeurs avec contacts de propagation précédant ceux de correction)

$$\theta\left[\log_e \frac{1 + u}{1 - u} - \log_e \sqrt{1 - e^{-\frac{1}{N\theta}}}\right],$$

et pour le cas de la correction non isolée,

$$\theta\left[\log_e \frac{1 + u}{1 - u} - \log_e \left(1 - e^{-\frac{1}{N\theta}}\right)\right].$$

Sans entrer dans le détail de l'expression de θ en fonction des caractéristiques électriques de la ligne, l'auteur donne une idée de son ordre de grandeur dans quelques cas. Notons seulement ici que θ s'exprime par un nombre de millisecondes inférieur à 10.

Si maintenant on transporte les expressions ci-dessus de l'empiètement dans l'expression développée de $E < L_s - L_i$ caractérisant une réception correcte, on obtient, en désignant par λ la quantité $\frac{1}{2} - m - D$, les deux inégalités ci-après

1° Correction isolée

$$e^{\frac{\lambda}{N\theta}} \sqrt{1 - e^{-\frac{1}{N\theta}}} \geqq \frac{1 + u}{1 - u}.$$

2° Correction non isolée

$$e^{\frac{\lambda}{N\theta}}\left(1-e^{-\frac{1}{N\theta}}\right)\geq\frac{1+u}{1-u}.$$

Ces expressions permettent de déterminer la vitesse de transmission N maximum possible sur une ligne donnée et avec un appareil déterminé, en remplaçant le signe $>$ par celui $=$. On voit entre autres que toutes choses égales d'ailleurs, N est inversement proportionnel au temps caractéristique θ de la ligne. L'auteur donne, dans l'article, des tableaux de la valeur de $N\theta$ pour quelques valeurs de λ et de u. Notons qu'inversement, connaissant ces quantités et N, on peut à l'aide des expressions ci-dessus déterminer θ, c'est-à-dire la portée limite sur une ligne donnée.

Pour terminer, l'auteur applique les résultats de son étude à quatre types d'appareils : quadruple Baudot-Picard à 20 contacts, quadruple Baudot duplex à 22 contacts, quadruple à 23 contacts, quadruple à 24 contacts dont les deux derniers permettent d'isoler la correction. Il montre ainsi par les chiffres obtenus, que, contrairement aux apparences, le système de la correction isolée permet, avec une même ligne, une vitesse de transmission (en bands) plus élevée. — J. S.

La production et les emplois du beryllium (1).

1. Historique. — Découvert en 1798 par Vauquelin dans le minéral dénommé « beryl », le beryllium fut produit pour la première fois par Wohler, en 1828, mais ce n'est que récemment que sa préparation en quantités notables a pu être réalisée permettant d'étudier ses propriétés et ses emplois. La difficulté dans la préparation de ce métal réside dans sa grande affinité pour l'oxygène.

2. Travaux de Stock et Goldschmidt. — Ce sont surtout les travaux de Stock et Goldschmidt qui ont permis la production du beryllium en quantités importantes. Ils obtinrent pour la première fois le métal directement à partir d'un électrolyte fondu. L'électrolyte le plus convenable est formé d'un fluorure double de beryllium et de sodium ou de baryum, mais ils en arrivèrent à utiliser un mélange des deux, la température à laquelle le beryllium se sépare étant de 1 300 à 1 350°C. La mise au point industrielle de leur procédé a été faite par un institut de recherches sur le beryllium créé à Berlin, en 1923, sous les auspices de la Siemens und Halske Aktien-Gesellschaft.

3. Creusets et électrodes. — La première question à mettre au point fut celle des creusets et électrodes. Il fut reconnu que le seul matériau convenable pour le creuset est le graphite, exempt de fer autant que possible. Le creuset lui-même forme l'anode, la cathode étant constituée par une électrode creuse en fer, refroidie par l'eau. Pour diminuer la perte de graphite du creuset par combustion des parois extérieures dans l'air, on peut soit le placer dans un autre creuset garni de kryptol, ou encore l'entourer d'une masse d'électrolyte fondu. A la mise en route d'une opération, on commence par porter le creuset à la température convenable en le garnissant intérieurement de blocs de carbone ou de graphite. Lorsque la température voulue est atteinte le creuset est rapidement vidé de ces blocs et reçoit sa charge de fluorure double de beryllium et sodium auquel on ajoute ensuite du fluorure double de beryllium et baryum jusqu'à ce que la température d'électrolyse soit atteinte.

(1) K. Illig. *The Electrician*, 11 octobre 1929, t. CIII, p. 426-427, 3600 mots, 1 figure.

Les premiers échantillons de beryllium ainsi préparés pesant au plus 50 g servirent à déterminer les propriétés physiques de ce métal et à établir les méthodes d'analyse permettant de le reconnaître. En même temps, l'Institut du beryllium poussait les études vers une production commerciale de ce métal et ses applications.

4. Préparation industrielle. — Les premières recherches liées à une production commerciale du beryllium furent orientées vers la préparation simple à un prix peu élevé des sels servant d'électrolyte. D'autre part, grâce à l'utilisation des sels nouvellement préparés, il a été possible de transformer en un procédé pratiquement continu la préparation du beryllium au four électrique. Seule la destruction du creuset par carbonisation oblige d'arrêter de temps à autre l'opération. Le beryllium est ainsi obtenu par quantités de 150 g environ. Suivant les dimensions du creuset, la pureté du produit est de 98 pour 100 environ. On peut obtenir du métal à 99,9 pour 100 de pureté par une double fusion, mais le rendement de l'opération est faible.

On s'occupa en même temps de rechercher l'existence de dépôts de beryl et d'étudier les prix auxquels ce minéral peut être obtenu. On reconnut l'existence de gisements en Norvège, en Espagne, en Floride, au Canada, au Brésil, ainsi que dans l'Allemagne du sud et dans l'Oural.

Il semble que c'est comme métal léger que le beryllium trouvera le plus de débouchés. Pur, c'est un métal très dur qui raye le verre, mais très cassant et qui ne peut être ni laminé ni étiré en raison de son grain cristallin très grossier. Sa densité spécifique est de 1,8.

5. Alliages de beryllium. — Les alliages d'aluminium et de beryllium ont des propriétés analogues à celles du duralumin ou du silumin. Les alliages de cuivre ou de nickel et de 2 à 2,5 pour 100 de beryllium ont des propriétés analogues à celles des bronzes.

La caractéristique la plus intéressante des alliages de beryllium réside dans l'amélioration notable de leurs propriétés par traitement thermique. C'est ainsi qu'un alliage de cuivre et beryllium à 2,39 pour 100 de ce dernier métal qui, après trempe ordinaire, donne à l'essai Brinel un chiffre de dureté de 100, donne au même essai un chiffre de 440 après recuit à 300°C pendant 17 heures. Certains alliages à 6 pour 100 de beryllium ont donné un chiffre de dureté de plus de 730. Voici, d'autre part, d'autres chiffres relatifs aux propriétés mécaniques d'un alliage à 2,5 pour 100 de beryllium : résistance à la traction avant recuit, 48,9 kg : mm², après recuit 135 kg : mm²; résistance à la flexion transversale, 65,7 kg : mm² avant recuit et 216,7 kg : mm² après recuit; limite d'élasticité 5 kg : mm avant recuit contre 45,9 kg : mm² après recuit. L'augmentation de la teneur en beryllium accroît l'effet du traitement thermique, tout au moins jusqu'à une teneur d'environ 6 pour 100 de beryllium.

La ductibilité décroît tandis que la résistance mécanique augmente, ce qui est sans inconvénient, car le traitement thermique n'est appliqué qu'une fois les pièces usinées.

6. Conductibilité électrique. — La conductibilité électrique de ces alliages décroît quand la teneur en beryllium croît.

Pour terminer, signalons que ces alliages résistent beaucoup mieux à la corrosion que les bronzes ordinaires et que le beryllium peut être employé avec succès comme réducteur dans la fonte du cuivre. — J. S.

SECTION INDUSTRIELLE

Un nouveau moteur asynchrone compensé

Le nouveau moteur asynchrone compensé que décrit l'auteur dans l'article qui suit est une application du principe réalisé dans les excitatrices spéciales à conversion de fréquence de Maurice Leblanc et de Boucherot ; mais, tandis que ces excitatrices ont un circuit magnétique indépendant de celui de la machine principale, dans le moteur de ce nouveau système, les enroulements d'excitation sont logés dans la machine principale même. La ligne d'alimentation est reliée au stator, d'où la possibilité d'adopter l'alimentation en haute tension ; le rotor comporte deux enroulements, celui de la machine principale relié à des bagues et l'enroulement d'excitation connecté à ces mêmes bagues par l'intermédiaire d'un collecteur, absolument comme dans le cas de l'excitatrice indépendante. L'auteur expose d'abord la théorie de l'excitatrice à conversion de fréquence, système M. Leblanc, se réservant de traiter dans une note annexe le cas de l'excitatrice Boucherot ; il montre ensuite les difficultés qui se présentent lorsqu'il s'agit de grouper en une seule machine le moteur asynchrone et l'excitatrice et déduit de l'examen des phénomènes parasites résultant de ces combinaisons, tels que les attractions magnétiques et les phénomènes d'induction mutuelle, les règles à suivre dans le choix des nombres de pôles du moteur, de l'excitatrice et du collecteur. Cette étude relative aux conditions de réalisation de ce nouveau moteur est suivie de quelques considérations sur des particularités que présente son fonctionnement. Dans une note annexe est traitée en détail la question des bobinages d'excitation du rotor par moteurs à quatre pôles.

I. **Introduction.** — 1. Moteurs compensés par excitatrice indépendante, moteurs autocompensés. — La compensation de phase des moteurs asynchrones est depuis longtemps connue ; en 1895, Maurice Leblanc proposait déjà un système de compensation utilisant deux excitatrices monophasées (1). Ultérieurement plusieurs autres systèmes ont été imaginés par Maurice Leblanc et par d'autres inventeurs. Les procédés actuellement connus donnent toute satisfaction quand le moteur asynchrone doit être compensé par une excitatrice séparée.

Pour les petits moteurs, le problème se complique de la façon suivante : une excitatrice séparée serait trop grosse par rapport au moteur et coûterait trop cher ; de même, pour les très petits alternateurs les dimensions de l'excitatrice deviennent comparables à celles de l'alternateur lui-même. On est donc amené à envisager la combinaison de la machine asynchrone et de son excitatrice dans un circuit magnétique unique, comme l'on construit de petits alternateurs autoexcitateurs en munissant de trois bagues un induit de machine à courant continu autoexcitatrice.

Ces moteurs, où la machine principale est combinée avec son excitatrice, sont souvent dits « autocompensés ».

2. Systèmes connus de moteurs autocompensés. — Pour la machine asynchrone, trois systèmes de ce genre ont été proposés jusqu'à ce jour.

1° Dans l'un (fig. 1), dû à M. Blondel (2) et appelé dans les pays de langue allemande moteur Osnos (1), la ligne alimente par trois bagues le rotor R fonctionnant en primaire, tandis que le bobinage du stator S réuni aux balais du collecteur sert de secondaire. Ce moteur fonctionne de façon tout à fait satisfaisante ; il peut être construit pour plusieurs centaines de chevaux. Il a seulement l'inconvénient de l'alimentation du rotor par la ligne, ce qui rend impossible l'emploi de la haute tension, et amène quelquefois des courts-circuits entre bagues des moteurs à 380 ou 500 v quand, l'entretien n'étant pas soigné, la poussière provenant de l'usure des balais s'accumule au voisinage des bagues.

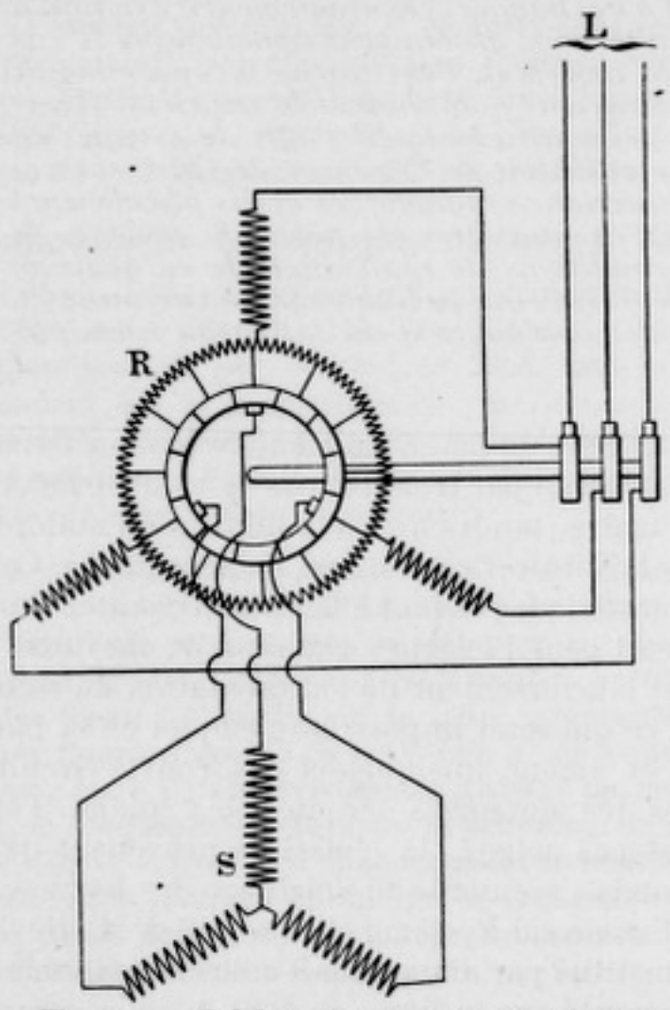
2° Un second système (fig. 2), dû à M. Heyland (3), est constitué par un moteur à collecteur dont le stator S est alimenté par la ligne et dont le rotor comporte un collecteur sur lequel frottent des balais couplés en dérivation sur la ligne ou sur une fraction de la tension de ligne. En outre, le rotor comporte un bobinage triphasé ordinaire réuni à trois bagues que l'on met en court-circuit à la fin du démarrage. Comme pour tous les moteurs à collecteur, la tension entre lames est élevée au démarrage et les crachements sont difficiles à éviter, à moins de relever les balais du collecteur, ce qui complique passablement la construction. Pour de très petits moteurs, on remplace le bobinage à bagues du rotor par une cage d'écureuil ; celle-ci a pour effet de réduire beaucoup le flux traversant le bobinage à collecteur au démarrage, et, par conséquent de diminuer fortement la production d'étincelles. Pour les nombres de pôles un peu élevés, le nombre de lames du

(1) *Brevet français n 249036* du 20 juillet 1895.
(2) *Brevet français n° 317969* du 22 janvier 1902 pris au nom des Etablissements Sautter Harlé.

(1) Osnos. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 18 octobre 1902, t. XXIII, p. 920.
(2) *Brevet français n° 312595* du 11 juillet 1901.

collecteur deviendrait excessif, et il faut renoncer à ce système. En somme, ce moteur est avantageux pour les petits nombres de pôles et les faibles puissances avec rotor à collecteur et à cage sans bagues et exceptionnellement pour les gros moteurs avec relevage des balais.

3° Un troisième système (fig. 3) a été imaginé par M. Torda (1); il consiste à combiner une excitatrice à inductance négative (anneau à collecteur sur lequel frottent les balais) avec un moteur asynchrone ordinaire. On sait qu'une telle excitatrice peut ne pas comporter de stator et se composer seulement d'un rotor bobiné à collecteur; c'est ainsi qu'elle est construite notamment par la Société Brown, Boveri et Cie, sous le nom d'excitatrice Scherbius. Rien n'empêche dès lors de loger ce rotor à collecteur à l'intérieur du rotor



Figr 1. — Schéma du moteur asynchrone compensé Blondel.

du moteur asynchrone. Ce moteur a, comme tous les moteurs excités par excitatrice à inductance négative, le défaut de n'être pas compensé à vide, ce qui, dans bien des cas annule l'intérêt de la compensation, surtout pour de petits moteurs.

De ces trois moteurs, le plus répandu est certainement celui de Blondel qui n'a que l'inconvénient de l'alimentation du rotor par la ligne.

3. Nouveau système de moteur autocompensé (2). — Le système de moteur autocompensé qui fait l'objet de cette étude est alimenté par son stator, ce qui permet l'utilisation directe de la haute tension; la différence de

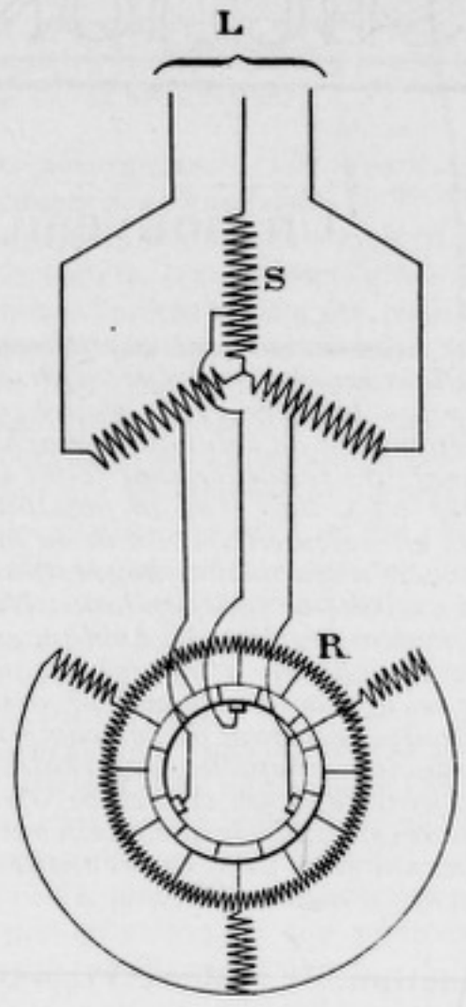


Fig. 2. — Schéma du moteur asynchrone compensé Heyland.

potentiel entre lames au démarrage est modérée et même généralement plus faible qu'en marche normale,

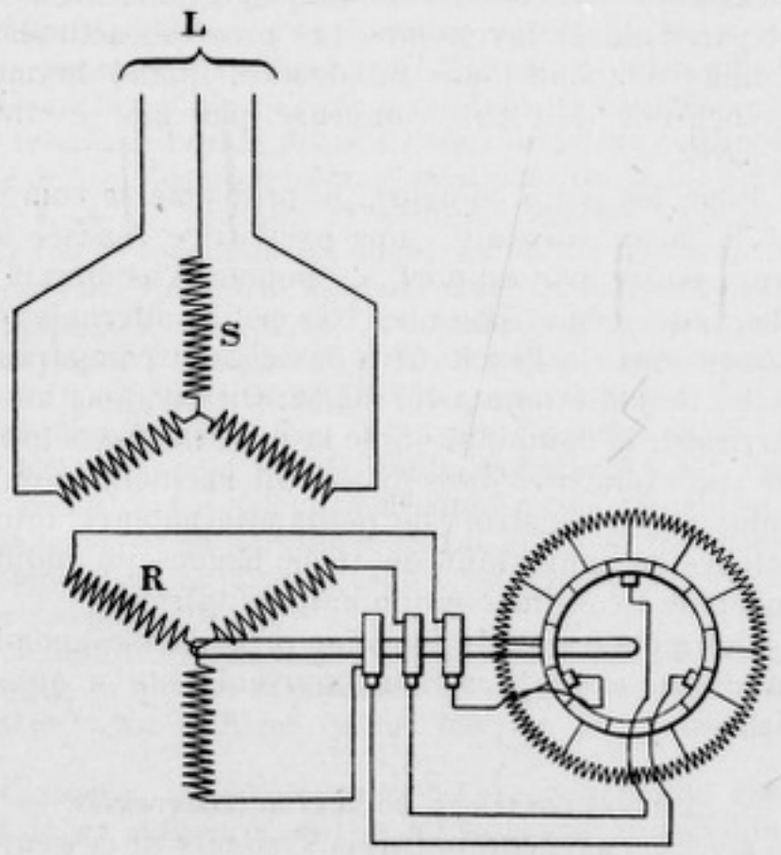


Fig. 3. — Schéma du moteur asynchrone compensé Torda.

ce qui évite les crachements à la mise en marche; enfin il est compensé à vide.

(1) *Brevet français n° 573756* du 18 novembre 1922.

(2) *Brevet français n° 614980* du 23 avril 1926 et *certificat d'addition n° 32130* du 9 août 1926 de H. de Pistoye. Les brevets allemand (DRP 484185), anglais (br. angl. 270384), et américain, ont été également accordés pour ce moteur.

Ce système est basé sur l'utilisation des convertisseurs de fréquence spéciaux (dits à nombre de pôles réduits, bien qu'ils puissent être à nombre de pôles plus grand que celui du moteur principal) de Maurice Leblanc et de Boucherot; cette dernière machine est aussi connue sous le nom d'excitatrice sinusoïdale. L'application de l'excitatrice Leblanc étant plus facile que celle de l'excitatrice Boucherot, nous rappellerons d'abord le principe de la première de ces machines. Nous donnerons en annexe la théorie de l'excitatrice Boucherot.

II. Principe de l'excitatrice convertisseur de fréquence de Maurice Leblanc. — 1. Notations. — Nous appellerons :

$2p_p$ le nombre de pôles de la machine principale;
$2p_e$ celui des bobinages de l'excitatrice;
$2p_c$ celui du collecteur de l'excitatrice;
f la fréquence;
g le glissement;
et nous poserons à la manière habituelle $\omega = 2\pi f$.

2. Constitution de l'excitatrice. — Le stator de l'excitatrice est réuni à la ligne et porte un bobinage polyphasé ordinaire à $2p_e$ pôles. Le rotor, accouplé à celui de la machine principale, porte un bobinage ordinaire à courant continu à $2p_e$ pôles. Le collecteur a un nombre de lames correspondant à $2p_c$ pôles. Il n'y a rien de spécial dans la machine que les connexions entre l'induit et le collecteur qui peuvent être faites de l'une des deux manières suivantes :

1° *Les connexions ne sont pas inversées.* — Soit, par exemple, à faire les connexions entre un bobinage bipolaire et un collecteur tétrapolaire ($p_e = 1$, $p_c = 2$). Le nombre de lames du collecteur sera double du nombre de sections de l'induit; les lames du collecteur seront réunies deux à deux par des connexions équi-

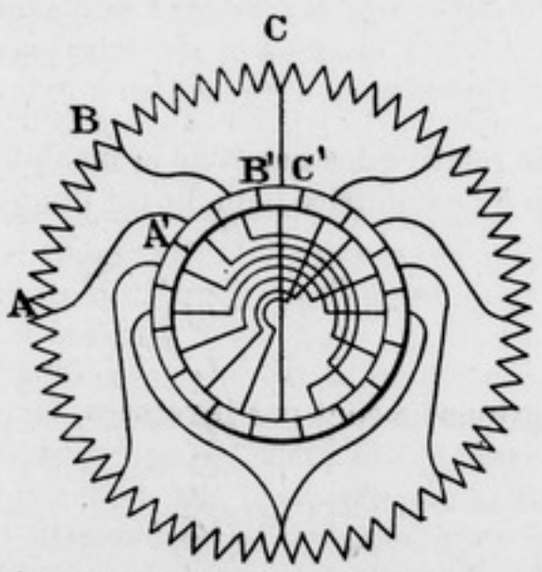


Fig. 4. — Schéma des connexions du rotor de l'excitatrice Leblanc dans le cas où ces connexions ne sont pas inversées ($p_e = 1$, $p_c = 2$).

potentielles diamétrales (fig. 4). On conçoit donc que toute combinaison de polarités p_e et p_c soit possible;

2° *Les connexions sont inversées.* — Dans certains cas, les connexions entre bobinage induit et collecteur doivent être, comme nous le verrons, inversées (fig. 5) de façon que, si l'on considère deux mobiles, l'un parcourant le bobinage induit dans le sens de la flèche 1, l'autre, parcourant les lames du collecteur correspon-

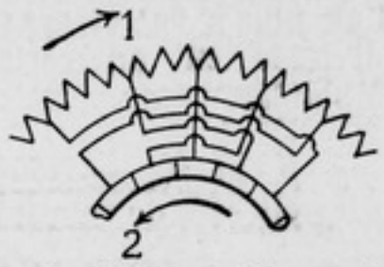


Fig. 5. — Schéma de principe de l'inversion des connexions du rotor de l'excitatrice Leblanc.

dant aux sections rencontrées par le premier, ce dernier tourne dans le sens de la flèche 2 inverse de celui de la flèche 1.

Dans le cas très simple de $p_e = 1$, $p_c = 1$ et d'un bobinage à dix sections avec collecteur à dix lames, l'ensemble des connexions est disposé comme l'indique la figure 6.

Comme il y a, en général, des points équipotentiels tant sur le collecteur que sur l'induit, on peut en pro-

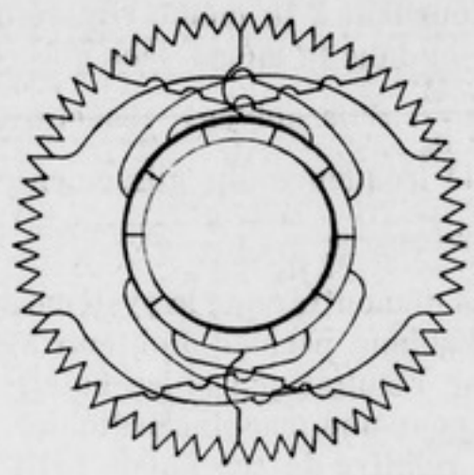


Fig. 6. — Schéma des connexions inversées d'un rotor d'excitatrice Leblanc ($p_e = 1$, $p_c = 1$).

filer pour simplifier les connexions de la manière suivante : soit dans le cas de $p_e = 3$ (fig. 7) à réunir une lame A du collecteur à une des trois sections équipotentielles B, B′, B″ de l'induit; on peut toujours faire la

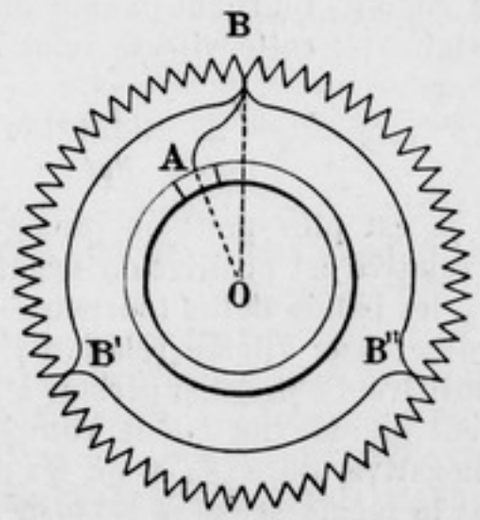


Fig. 7. — Simplification des connexions d'un rotor d'excitatrice Leblanc par emploi des connexions équipotentielles ($p_e = 3$).

connexion entre A et celle des sections B, B′ ou B″ qui en est la plus voisine, et réunir B, B′, B″ par une connexion équipotentielle ordinaire. De la sorte la longueur maximum des connexions correspond à un angle AOB égal au plus à 60° et ces connexions sont généralement divisées en un certain nombre de groupes tous semblables.

3. Loi liant p_p, p_e et p_c. — Nous considérerons comme positives les vitesses de rotation de même sens que celle du rotor.

La vitesse de rotation du rotor du moteur est $\frac{\omega}{p_p}(1-g)$.

Le stator de l'excitatrice étant un stator à champ tournant à $2p_e$ pôles, son champ tourne à la vitesse $\frac{\omega}{p_e}$, ou à la vitesse $-\frac{\omega}{p_e}$, suivant que son sens de rotation est, ou non, le même que celui du champ principal. Si l'induit de l'excitatrice était un induit ordinaire de machine à courant continu, pour que les balais restent constamment dans la zone neutre, c'est-à-dire pour qu'ils puissent recueillir du courant continu, il faudrait qu'ils tournent à la même vitesse que le champ d'excitation, et dans le même sens que celui-ci, soit à la vitesse $\pm\frac{\omega}{p_e}$. S'ils doivent recueillir du courant alternatif à la fréquence du glissement, ils devront tourner à la vitesse $\pm\frac{\omega}{p_e}(1-g)$.

Nous allons démontrer que le système de connexions de Maurice Leblanc permet d'obtenir avec des balais fixes le même résultat que si les balais tournaient à cette vitesse pour une machine ordinaire.

La vitesse relative de ces balais fictifs par rapport au rotor est la différence des vitesses de ces balais et du rotor, c'est-à-dire

$$\pm\frac{\omega}{p_e}(1-g)-\frac{\omega}{p_p}(1-g).$$

Si les deux champs tournent dans le même sens, on prendra le signe +; cette vitesse relative sera donc

$$\omega(1-g)\left(\frac{1}{p_e}-\frac{1}{p_p}\right).$$

Suivant que p_e est plus petit ou plus grand que p_p, cette vitesse relative est positive ou négative; si p_e est inférieur à p_p, les balais fictifs tournent, en effet, plus vite que le rotor; leur vitesse relative par rapport à celui-ci est positive. Si p_e est supérieur à p_p, les balais fictifs tournent moins vite que le rotor, leur vitesse relative est négative. Dans le cas où les deux champs tournent dans le même sens, p_e ne peut pas être égal à p_p. Si les deux champs tournent en sens inverse l'un de l'autre, le signe — est à prendre et la vitesse relative est

$$-\omega(1-g)\left(\frac{1}{p_e}+\frac{1}{p_p}\right);$$

elle est toujours négative puisque les balais fictifs tournent en sens inverse du rotor.

Considérons maintenant l'excitatrice à connexions spéciales de Maurice Leblanc, et prenons, par exemple, le cas d'une excitatrice bipolaire à collecteur tétrapolaire avec connexions non inversées (fig. 4). Dans une machine ordinaire avec collecteur ayant autant de pôles que l'induit, pour que les sections de la zone ABC passent en commutation sous un balai, il faut que l'induit tourne par rapport à ce balai de l'angle correspondant à l'arc ABC, soit de 90° sur la figure. Dans la machine Leblanc, pour que les mêmes sections passent en commutation, il suffit que l'induit tourne seulement de l'angle correspondant à A′B′C′, soit de 45°; la vitesse relative des balais par rapport à l'induit est donc, dans le cas considéré, réduite de moitié par les connexions Leblanc.

On voit immédiatement que, d'une façon générale, la vitesse relative des balais par rapport à l'induit sera réduite dans le rapport $\frac{p_e}{p_c}$; inversement, on peut dire que la vitesse relative des balais par rapport à l'induit dans une machine ordinaire est $\frac{p_c}{p_e}$ fois plus grande que dans la machine Maurice Leblanc.

Si les connexions sont inversées entre bobinage et collecteur, la vitesse relative des balais par rapport à l'induit de la machine ordinaire équivalente est de signe contraire à celui qu'elle a dans la machine de Maurice Leblanc; la vitesse relative des balais de la machine ordinaire équivalente est donc $-\frac{p_c}{p_e}$ fois la vitesse relative réelle.

La vitesse relative réelle des balais par rapport à l'induit est égale et opposée à celle de l'induit, soit

$$-(1-g)\frac{\omega}{p_p}.$$

La vitesse relative des balais de la machine ordinaire équivalente à l'excitatrice Leblanc est donc

$$-\frac{p_c}{p_e}(1-g)\frac{\omega}{p_p}$$

si les connexions ne sont pas inversées, et

$$\frac{p_c}{p_e}(1-g)\frac{\omega}{p_p},$$

si les connexions sont inversées.

Nous allons écrire que la vitesse relative des balais réels de l'excitatrice Leblanc est égale à la vitesse relative des balais tournants de l'excitatrice ordinaire.

Reprenons les cas distingués précédemment, en remarquant seulement que les valeurs de p_c devront évidemment être positives.

1° *Les deux champs tournent dans le même sens et*

$p_p > p_e$. — Nous adopterons des connexions inversées; on devra donc avoir

$$\frac{p_c}{p_e}(1-g)\frac{\omega}{p_p} = (1-g)\,\omega\left(\frac{1}{p_e}-\frac{1}{p_p}\right),$$

d'où

$$p_c = p_p - p_e > 0.$$

2° *Les deux champs tournent dans le même sens et* $p_p < p_e$. — Nous adopterons des connexions non inversées. L'équation s'écrira alors

$$-\frac{p_c}{p_e}(1-g)\frac{\omega}{p_p} = (1-g)\,\omega\left(\frac{1}{p_e}-\frac{1}{p_p}\right),$$

ce qui donne

$$p_c = p_e - p_p > 0.$$

3° *Les deux champs tournent en sens inverse.* — Les connexions ne seront pas inversées. L'équation sera dans ce cas

$$-\frac{p_c}{p_e}(1-g)\frac{\omega}{p_p} = -(1-g)\,\omega\left(\frac{1}{p_e}+\frac{1}{p_p}\right),$$

d'où l'on tire

$$p_c = p_e + p_p > 0.$$

Si l'on adoptait des connexions inversées, à la place des connexions non inversées, ou réciproquement, on obtiendrait des valeurs négatives de p_c, ce qui n'aurait aucun sens.

Remarque. — Le nom d'excitatrice à nombre de pôles réduit vient du cas 1° pour lequel $p_c < p_p$, cas qui était celui de l'excitatrice Leblanc de l'alternateur compound Grammont à l'Exposition de 1900.

Dans le cas 2° on peut aussi avoir $p_c < p_p$, si p_e est plus petit que 2 p_p.

Dans la machine compensée que nous étudions on choisit au contraire en général le cas 3° où $p_c > p_p$: la machine a un collecteur à nombre de pôles augmenté.

4. Schéma du moteur et de son excitatrice. — Le schéma d'un moteur compensé ordinaire avec excitatrice du type convertisseur de fréquence Leblanc ou Boucherot est donné par la figure 8.

Le stator de l'excitatrice est alimenté en dérivation sous la tension de la ligne ou sous une fraction de celle-ci par des prises faites sur le bobinage du stator du moteur principal (fig. 9) ou par un bobinage auxiliaire ayant même nombre de pôles que le bobinage principal (fig. 10) logé dans les encoches du stator du moteur.

Le rotor de l'excitatrice directement accouplé débite par les balais de son collecteur du courant sur les bagues du moteur principal qui est ainsi excité.

5. Tension entre lames du collecteur au démarrage. — La tension entre lames du collecteur au démarrage est à la tension en marche normale comme sont les vitesses relatives du champ d'excitation et du rotor de l'excitatrice au démarrage et en marche normale. Si le champ de l'excitatrice tourne dans le sens du mouvement ce rapport de vitesses est, au signe près, en négligeant le glissement,

$$\frac{\frac{\omega}{p_e}}{\frac{\omega}{p_e}-\frac{\omega}{p_p}} = \frac{p_p}{p_e - p_p}.$$

Si les deux champs tournent en sens inverse ce rapport est

$$\frac{\frac{\omega}{p_e}}{\frac{\omega}{p_e}+\frac{\omega}{p_p}} = \frac{p_p}{p_e + p_p};$$

en ce cas, la tension entre lames au démarrage est plus

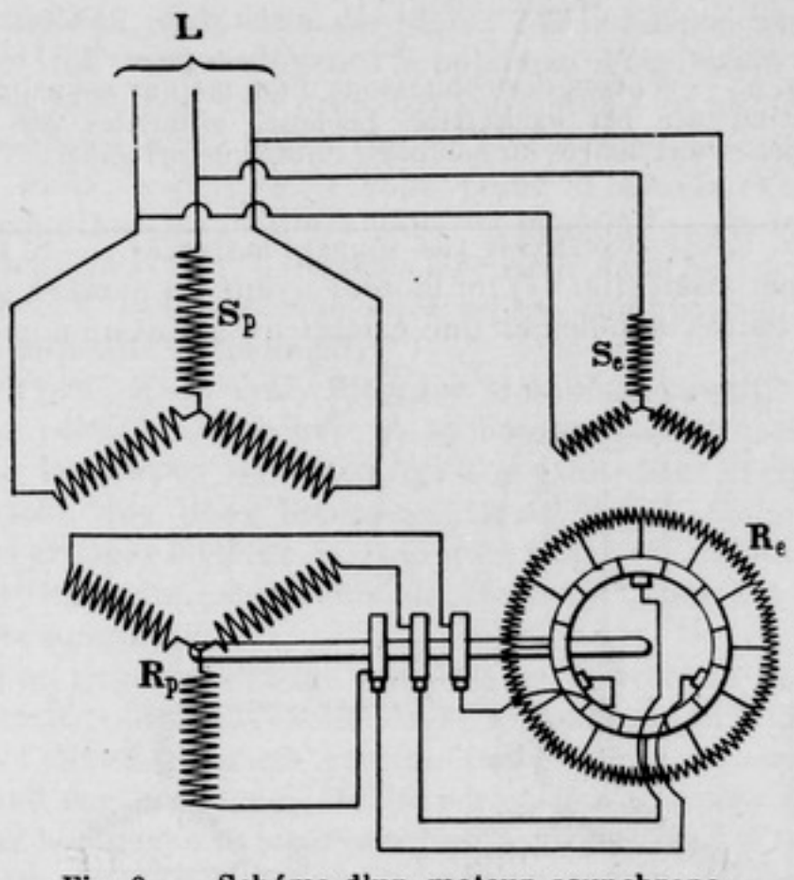


Fig. 8. — Schéma d'un moteur asynchrone compensé par excitatrice Leblanc.

faible qu'en marche normale; ce cas est le cas habituel pour le nouveau moteur comme nous le verrons.

III. Principe, nombre de pôles et bobinages du nouveau moteur asynchrone compensé. — 1. Principe de ce moteur. — Dans ce nouveau moteur l'excitatrice a même circuit magnétique que le moteur principal, mais le schéma demeure rigoureusement le même. La combinaison dans un même circuit magnétique du moteur principal et de son excitatrice oblige à choisir des nombres de pôles tels que des attractions magnétiques déséquilibrées ne se produisent pas et à adopter des bobinages évitant l'induction mutuelle

entre le moteur principal et son excitatrice. Nous allons examiner ces deux points.

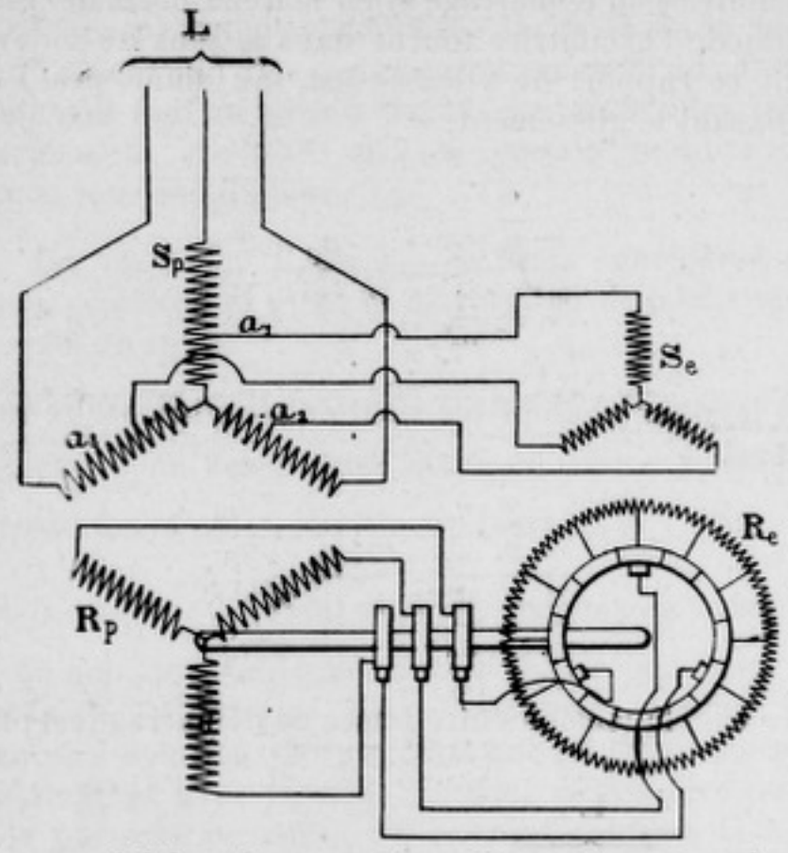


Fig. 9. — Schéma des connexions d'un moteur asynchrone compensé par excitatrice Leblanc, alimentée par des prises auxiliaires du bobinage statorique principal.

2. Règle concernant les nombres des poles. — Si l'on superposait (fig. 11) un moteur ayant un nombre pair de paires de pôles et une excitatrice ayant un nombre

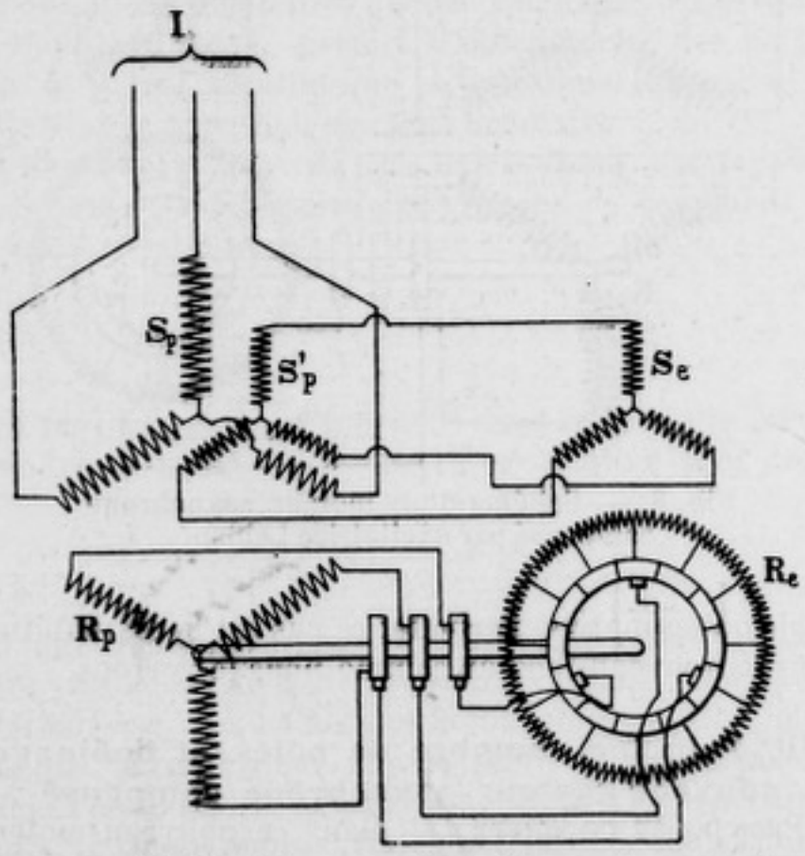


Fig. 10. — Schéma des connexions d'un moteur asynchron compensé par excitatrice Leblanc alimentée par un bobinage statorique auxiliaire.

impair de paires de pôles, les inductions résultantes ne seraient ni égales, ni égales et opposées aux extrémités d'un même diamètre et l'attraction magnétique, proportionnelle au carré de l'induction, ne serait pas égale aux points diamétralement opposés. Il en résulterait une prépondérance de l'attraction magnétique d'un côté, ce qui donnerait lieu à des vibrations into-

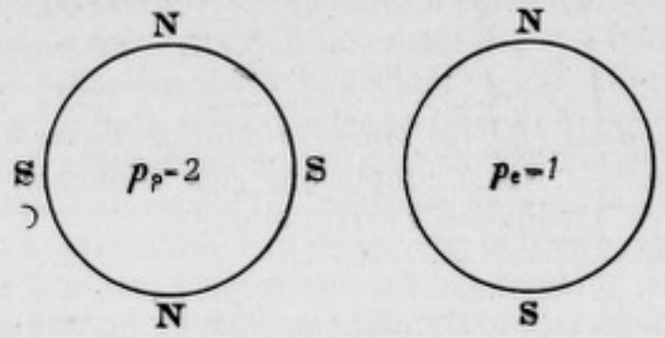


Fig. 11. — Schéma expliquant la règle des nombres de pôles principal et d'excitation dans le nouveau moteur compensé.

lérables; p_e devra donc être pair ou impair en même temps que p_p. En pratique p_p et p_e étant forcément différents, comme nous le dirons, ceci conduit à adopter pour p_p et p_e les valeurs correspondantes consignées dans le tableau I.

Tableau I. — *Valeurs correspondantes des nombres de paires de pôles de la machine principale et de l'excitatrice.*

p_p	p_e
1	3
2	4
3	1
4	2
5	1
6	2

3. Dispositifs empêchant l'induction mutuelle entre bobinages de polarités différentes. — Pour éviter l'induction mutuelle entre les bobinages principaux et d'excitation, il faut évidemment que p_e et p_p soient différents. Ceci étant, nous allons développer les procédés employés pour les moteurs de 2 à 12 pôles.

Dans tous les autres cas, les dispositifs à employer rentreraient dans l'un de ceux examinés.

1° *Moteurs à 4 et à 8 pôles* ($p_p = 2$ avec $p_e = 4$ ou $p_p = 4$ avec $p_e = 2$). — Une spire à pas diamétral à 4 pôles embrasse un champ double à 8 pôles. Si donc le bobinage à 4 pôles est formé de spires à pas diamétral, aucune force électromotrice n'y sera induite par le champ à 8 pôles. Il est évident que si certaines spires ont un pas allongé et si un même nombre d'autres spires ont un pas raccourci de la même quantité, il n'y aura de même aucune induction mutuelle pour l'ensemble du bobinage; c'est le cas avec les bobinages classiques par phase.

Si le bobinage à 8 pôles est formé de spires en série deux à deux identiques et distantes d'un champ double dans le champ à 8 pôles (fig. 12), elles seront distantes d'un champ simple dans le champ à 4 pôles; les forces

électromotrices qui y seront induites par le champ à 4 pôles s'annuleront deux à deux.

Il est donc très facile d'empêcher les inductions mutuelles parasites pour les moteurs à 4 et à 8 pôles.

2° *Moteurs à 2 et à 6 pôles* ($p_p = 1$ avec $p_e = 3$ ou $p_p = 3$ avec $p_e = 1$). — Une spire à pas diamétral à 2 pôles embrasse trois champs simples à 6 pôles. Si on raccourcit d'un tiers le pas de cette spire, elle embrassera exactement un champ double à 6 pôles et

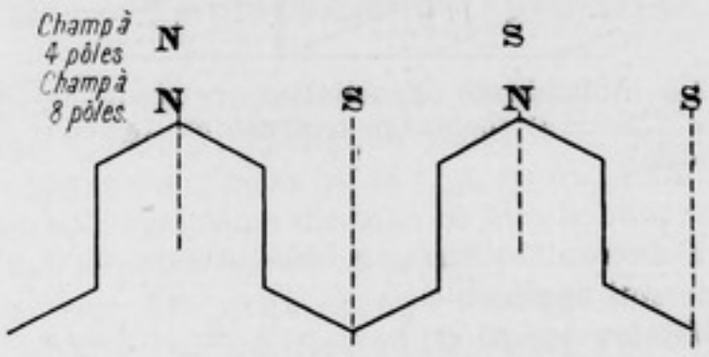


Fig. 12. — Montage de bobines à 8 pôles empêchant l'induction mutuelle avec un champ à 4 pôles.

le champ à 6 pôles ne pourra y induire aucune force électromotrice; on forme donc le bobinage à deux pôles de spires à pas raccourci de 1/3.

Si le bobinage à 2 pôles est triphasé on peut aussi se contenter de coupler les trois phases en étoile sans raccourcir le pas, car le champ à 6 pôles est un champ harmonique d'ordre 3 par rapport au champ à deux pôles et on sait qu'un champ harmonique 3 n'induit pas de force électromotrice entre bornes d'un bobinage triphasé en étoile.

Si le bobinage à 6 pôles est formé de bobines trois à trois en série et distantes de 2π dans le champ à 6 pôles, elles seront à $\frac{2}{3}\pi$ dans le champ à deux pôles. Or, la somme des forces électromotrices induites par un champ dans trois spires distantes de 120 degrés électriques dans ce champ est nulle; le champ à deux pôles n'induira donc aucune force électromotrice dans le bobinage à 6 pôles (1).

3° *Moteurs à 10 pôles* ($p_p = 5$ avec $p_e = 1$). — Les procédés à employer sont analogues à ceux qui correspondent à 6 pôles : raccourcissement de 1/5 du pas des bobinages à deux pôles, couplage en série 5 par 5 des bobines des enroulements à 10 pôles.

4° *Moteurs à 12 pôles* ($p_p = 6$ avec $p_e = 2$). — Un tel moteur sera composé de deux moteurs à 6 pôles juxtaposés. Les procédés à employer pour empêcher l'induction mutuelle sont donc les mêmes que pour 6 pôles.

5° *Conclusion*. — On voit qu'il est toujours facile d'empêcher l'induction mutuelle entre bobinages de polarités différentes par l'un des procédés suivants : choix d'un pas convenable (diamétral ou raccourci), couplage en étoile des phases, couplage en série ou en série parallèle des bobines d'une même phase.

Remarquons, en outre, que pour le bobinage rotorique d'excitation, il n'est pas nécessaire d'annuler rigoureusement l'induction mutuelle avec le champ principal. Le rotor tournant, au glissement près, à la même vitesse que le champ principal, celui-ci ne peut induire, en marche, que de très faibles forces électromotrices dans le bobinage rotorique d'excitation ; c'est donc surtout pour n'avoir pas au démarrage, du fait du champ principal, une tension élevée entre lames du collecteur que l'on doit chercher à annuler l'induction mutuelle entre le champ principal et le bobinage rotorique d'excitation, mais il n'est pas nécessaire que ce résultat soit rigoureusement atteint.

4. Bobinages d'excitation de stator combinés avec le bobinage auxiliaire. — En pratique, une difficulté se présente : le bobinage d'excitation et le bobinage principal doivent l'un et l'autre, bien entendu, être répartis sur toute la périphérie du stator; le bobinage auxiliaire (fig. 10) qui alimente le bobinage d'excitation ou la partie du bobinage principal sur laquelle est branché le bobinage d'excitation (fig. 9) doit aussi être réparti sur toute la périphérie sous peine d'introduire un déséquilibre magnétique dans la machine : cela fait, en définitive, trois bobinages à répartir dans toutes les encoches, ce qui est une assez grosse complication et une difficulté d'isolement.

On peut, il est vrai, disposer le bobinage auxiliaire dans certaines encoches et le bobinage d'excitation dans les autres de façon qu'il n'y ait dans chaque encoche que deux bobinages; mais il y a toujours trois groupes de têtes de bobines à isoler et, en outre, le repérage des connexions de ces trois bobinages est assez compliqué.

Il est possible, comme nous allons le voir, de combiner le bobinage d'excitation et le bobinage auxiliaire qui l'alimente en un seul bobinage fermé en court-circuit sur lui-même. De la sorte, il n'y a plus que deux bobinages à loger sur le stator, et l'un d'eux, ayant chacune de ses phases fermée sur elle-même, a toutes ses extrémités en court-circuit ; il n'y a donc plus de repérage de connexions à faire pour ce bobinage et il ne reste que le repérage des connexions du bobinage principal qui est un bobinage ordinaire.

1° *Principe de ces bobinages d'excitation*. — Faisons un bobinage d'excitation qui ait une certaine induction mutuelle avec le bobinage principal. Le champ principal induira une force électromotrice dans le bobinage d'excitation ainsi modifié ; comme ce bobinage est fermé sur lui-même, un courant s'y développera et excitera à son tour le champ d'excitation.

On peut dire aussi que les deux forces électromotrices induites dans le bobinage d'excitation par le champ principal et par le champ d'excitation seront égales et opposées, aux chutes de tension près, puisque le bobinage d'excitation est fermé sur lui-même.

(1) Remarquons à ce sujet que M. Torda dit dans son brevet français n° 573 756 qu'il est impossible d'empêcher l'induction mutuelle entre bobinages dont les nombres de pôles sont en rapport exactement impair; nous voyons que ceci est inexact.

En principe, le bobinage d'excitation devra produire, en même temps que le champ d'excitation, un champ harmonique d'ordre égal au champ principal ; dans ces conditions, il y aura bien une induction mutuelle entre le bobinage d'excitation et le champ principal.

En réglant cette induction mutuelle, on réglera la force électromotrice induite par le champ principal dans le bobinage d'excitation et, par conséquent, la valeur de la force contre-électromotrice induite par le champ d'excitation, et la valeur même de ce champ. Pratiquement, on calcule les coefficients de bobinage k_p et k_e du bobinage d'excitation pour le flux principal Φ_p et pour le flux d'excitation Φ_e. En négligeant les chutes de tension, on a

$$k_p \Phi_p = k_e \Phi_e,$$

en réglant $\frac{k_p}{k_e}$, on règle $\frac{\Phi_e}{\Phi_p}$.

Nous supposerons connues dans ce qui suit les propriétés essentielles des décompositions des champs en leurs harmoniques.

2° *Moteurs à 6 pôles* ($p_p = 3$, $p_e = 1$). — Nous commencerons par le cas du moteur à 6 pôles qui est le plus simple.

Le champ d'excitation étant à deux pôles et le champ principal à 6 pôles, ce dernier constituera un harmonique par rapport au champ d'excitation. Un bobinage triphasé n'ayant pas d'harmonique 3 (ou l'harmonique 3 induisant dans les trois phases des forces électromotrices de même phase, ce qui ne donnerait pas de courant triphasé) le bobinage d'excitation devra être diphasé. Remarquons incidemment que, pour éviter l'induction mutuelle entre deux et six pôles, le bobinage à deux pôles devrait avoir un pas raccourci de 1/3 comme nous l'avons dit ; on sait effectivement qu'un bobinage diphasé à pas raccourci de 1/3 n'a pas d'harmonique 3, ce qui est bien d'accord avec le raisonnement fait plus haut.

Supposons donc que nous raccourcissions le pas du bobinage d'excitation d'un peu moins de 1/3 ; il y aura un harmonique 3 d'autant plus important que le pas sera moins raccourci ; en réglant ce raccourcissement, on réglera donc la force électromotrice induite dans le bobinage d'excitation par le champ principal et par conséquent le champ d'excitation lui-même.

Dans un bobinage diphasé possédant un harmonique 3, le champ dû à cet harmonique tourne en sens inverse du champ fondamental. Le champ d'excitation tournera donc en sens inverse du champ principal ; le système ne serait pas applicable si les deux champs devaient tourner dans le même sens.

3° *Moteurs à 8 pôles* ($p_p = 4$, $p_e = 2$). — Le champ principal est un harmonique 2 par rapport au champ d'excitation. Si l'on considère un bobinage triphasé en deux couches (fig. 13) et que ce bobinage soit à pas diamétral, sa force magnétomotrice est hexaphasée et ne possède pas d'harmonique pair ; mais, si le pas n'est pas diamétral, la force magnétomotrice comporte un harmonique 2. Nous ferons donc un bobinage d'excitation triphasé à pas raccourci. Le réglage du champ d'excitation se fera en réglant le raccourcissement.

Ici encore, l'harmonique 2 tournant en sens inverse du champ principal, les deux champs principal et d'excitation devront tourner en sens inverse pour que le système soit applicable.

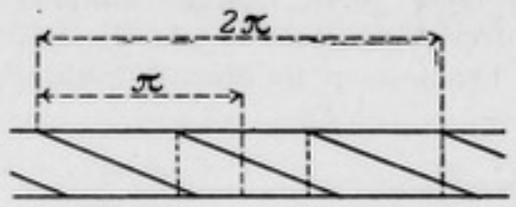


Fig. 13. — Bobinage d'excitation combiné à 4 pôles ($p_p = 4$, $p_e = 2$) (bobinage triphasé en tambour à pas raccourci).

4° *Moteurs à 4 pôles* ($p_p = 2$, $p_e = 4$). — Le champ d'excitation est à 8 pôles. Nous savons que pour annuler l'induction mutuelle avec le champ principal nous devons coupler en série deux par deux les bobines à 8 pôles. Supposons que nous donnions des nombres de spires différents aux bobines de numéros pairs et aux bobines de numéros impairs (par exemple 2 et 1 spires) (fig. 14) ; le champ à 4 pôles ne donnant évidemment pas la même force électromotrice dans les bobines à 2 et à 1 spire, il restera pour l'ensemble des trois spires la force électromotrice induite par le champ à 4 pôles dans une spire du bobinage d'excitation, 4 pôles étant la moitié de 8 pôles, nombre de pôles fondamental que doit produire le bobinage d'excitation ; le champ à 4 pôles constituera donc un harmonique 1/2.

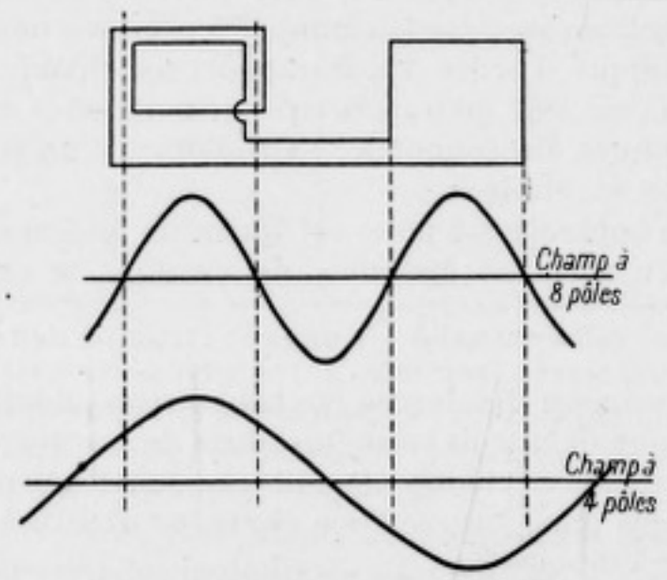


Fig. 14. — Bobinage d'excitation combiné à 8 pôles ($p_p = 2$, $p_e = 4$).

On constate encore que les deux champs tournent en sens inverse l'un de l'autre. Sur la figure 15 les bobines longues sont, par exemple, les bobines à deux spires, et les bobines courtes, celles à une spire. On voit que pour le champ à 8 pôles où toutes les bobines comptent, la succession des phases est 1, 2, 3, et que pour le champ à 4 pôles où les bobines longues seules comptent, la

succession des phases est 1, 3, 2, les deux champs tournent donc bien en sens inverse l'un de l'autre.

L'auteur a développé en série de Fourier la force magnétomotrice d'un tel bobinage (1); le développement donne bien l'harmonique 1/2.

La différence des nombres de spires des deux types

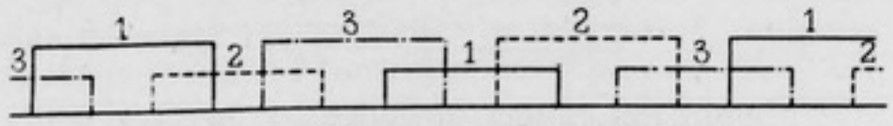


Fig. 15. — Schéma des têtes de bobines d'un bobinage d'excitation combiné à 8 pôles ($p_p = 2$, $p_e = 4$).

de bobines peut, bien entendu, être réglée de façon à obtenir le champ d'excitation voulu.

5° *Moteurs à 2 pôles* ($p_p = 1$, $p_e = 3$). — On fera un bobinage d'excitation diphasé où une bobine sur trois de chaque phase aurait un nombre de spires différent des autres. Les deux champs tourneront encore en sens inverse l'un de l'autre. Le champ principal sera ici un harmonique 1/3 du champ d'excitation.

6° *Moteurs à 10 pôles* ($p_p = 5$, $p_e = 1$). — On pourra faire un bobinage d'excitation diphasé à pas raccourci de plus ou de moins d'un cinquième; le champ principal et le champ d'excitation tourneront alors dans le même sens.

Si le bobinage d'excitation est triphasé à pas raccourci de plus ou de moins d'un cinquième, les deux champs tourneront en sens inverse l'un de l'autre.

7° *Moteurs à 12 pôles* ($p_p = 6$, $p_e = 2$). — Le moteur est formé, comme nous l'avons dit, par la juxtaposition de deux moteurs à 6 pôles.

5. Bobinage d'excitation de rotor en court-circuit pour le champ principal. — Le bobinage d'excitation R_e du rotor n'est parcouru que par des courants dont la fréquence est égale à la fréquence fondamentale multipliée par $\frac{p_e}{p_p}$, au glissement près, tandis que le bobinage principal R_p du rotor n'est parcouru que par des courants à la fréquence du glissement. Il serait avantageux, au point de vue de la bonne utilisation de la matière du rotor de faire parcourir le bobinage d'excitation R_e à la fois par des courants des deux fréquences. Cela est possible dans certains cas, en faisant un bobinage à $2p_e$ pôles qui soit en court-circuit vis-à-vis du flux principal à $2p_p$ pôles.

Avec un tel bobinage de rotor, le moteur démarre comme un moteur en court-circuit, dont le rotor serait très résistant, puisque ce court-circuit n'intéresse que le bobinage R_e, c'est-à-dire une faible fraction du cuivre du rotor. Pour un démarrage pénible, ce bobinage risquerait d'être brûlé; aussi un tel bobinage n'est-il recommandable que pour des moteurs démarrant à faible charge ou pour des génératrices (2).

(1) H. de Pistoye; Bobinages à courant alternatif à trous partiels. *Revue générale de l'Electricité*, 24 novembre 1923, t. XIV, p. 805-809.

(2) Sur les bobinages d'une polarité en court-circuit pour une autre polarité, voir H. de Pistoye : Sur l'étude des moteurs asynchrones polyphasés à plusieurs vitesses : VI. Méthode générale de bobinage des rotors ne permettant le contrôle rhéostatique qu'à une seule polarité. *Revue générale de d'Electricité*, 5 novembre 1927, t. XXII, p. 737-743.

1° *Moteurs à 2 pôles.* — Pour un moteur bipolaire ($p_p = 1$), ayant un bobinage d'excitation à 6 pôles ($p_e = 3$) on constituera le bobinage R_e à 6 pôles par un bobinage en parallèle à connexions équipotentielles. Trois spires en parallèle de R_e seront à 120° dans le champ principal et constitueront, par leurs connexions équipotentielles, un court-circuit pour celui-ci. On aura donc superposition des courants dus au champ principal se fermant par les connexions équipotentielles sans influencer le collecteur et des courants dus au champ d'excitation passant par le collecteur.

2° *Moteurs à 4 pôles.* — De même, dans un moteur à 4 pôles ($p_p = 2$) ayant un bobinage d'excitation à 8 pôles ($p_e = 4$), on peut constituer le bobinage R_e par un bobinage en parallèle à connexions équipotentielles. Deux spires situées sous des pôles de même nom consécutifs à 8 pôles sont devant des pôles de noms contraires à 4 pôles et sont par conséquent le siège de forces électromotrices opposées dues au champ principal; les connexions équipotentielles mettent en court-circuit ces forces électromotrices.

3° *Moteurs à 8 pôles.* — Dans le cas d'un moteur à 8 pôles ($p_p = 4$) avec bobinage d'excitation à 4 pôles ($p_e = 2$), on peut constituer le bobinage à 4 pôles par un double bobinage à pas raccourci et à pas allongé (fig. 16), les deux bobinages étant réunis aux mêmes lames et le raccourcissement étant égal à

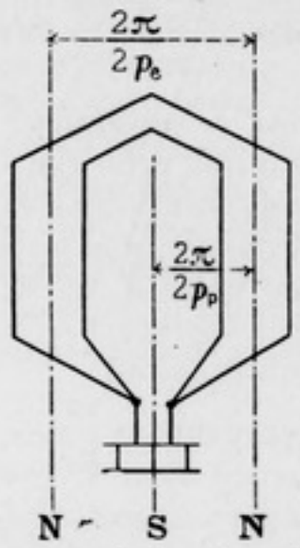


Fig. 16. — Bobinage d'excitation à 4 pôles en court-circuit pour 8 pôles ($p_e = 2$, $p_p = 4$).

l'allongement. Les forces électromotrices induites par le champ à 4 pôles dans les deux bobinages sont les mêmes et ne donnent lieu à aucun courant de circulation, tandis que chaque groupe de deux sections — l'une à pas raccourci, l'autre à pas allongé — constitue un court-circuit vis-à-vis du champ principal à 8 pôles, comme on s'en rend compte aisément par l'inspection de la figure 16, où les lignes marquées N, S, N constituent les axes des pôles du champ principal à 8 pôles. On pourra régler l'intensité du courant de court-circuit en agissant sur la valeur de l'allongement ou du raccour-

cissement du pas. D'autres solutions analogues sont encore possibles (combinaisons de bobinages imbriqués et ondulés, etc.).

4° *Cas d'impossibilité.* — Un tel bobinage est irréalisable à 6 pôles ($p_p = 3$) avec bobinage d'excitation bipolaire ($p_e = 1$), à 10 pôles ($p_p = 5$) avec champ d'excitation bipolaire ($p_e = 1$), à 12 pôles ($p_p = 6$), avec champ d'excitation tétrapolaire ($p_e = 2$), et, d'une façon générale, quand le nombre de pôles principaux est un multiple impair du nombre de pôles d'excitation (1).

6. Section de fer variable au stator. — En certains points du circuit magnétique, les deux flux principal et d'excitation s'ajoutent, en d'autres, ils se retranchent. Examinons dans quelles conditions ceci se produit.

Considérons l'instant où deux pôles nord N_1 et N'_1 (fig. 17) des deux flux coïncident et le point correspondant et cherchons l'instant et le point où une

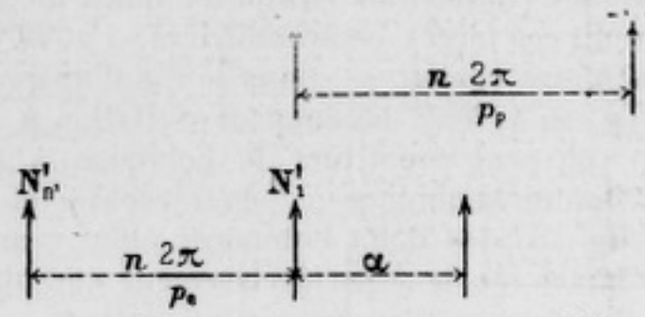


Fig. 17. — Diagramme permettant de déterminer le nombre des maxima du flux résultant.

seconde coïncidence se produira. Ce sera le pôle nord N_n de rang n du flux principal qui rencontrera le pôle nord $N'_{n'}$ de rang n' du flux d'excitation.

Supposons, par exemple, que les deux flux tournent en sens inverse ; les pôles N_n et $N'_{n'}$ se dirigent l'un vers l'autre et se rencontreront en un point distant de α du point de rencontre initial.

Le pôle N_n aura parcouru $n\frac{2\pi}{p_p} - \alpha$.

Le pôle $N'_{n'}$ aura parcouru $n'\frac{2\pi}{p_e} + \alpha$.

Si ω est la pulsation du champ, la vitesse de rotation du champ principal est $\frac{\omega}{p_p}$ et celle du champ d'excitation est $\frac{\omega}{p_e}$; le temps mis par le pôle N_n pour parcourir l'espace $n\frac{2\pi}{p_p} - \alpha$ à la vitesse $\frac{\omega}{p_p}$ est

$$\frac{n\frac{2\pi}{p_p} - \alpha}{\frac{\omega}{p_p}} = \frac{n2\pi - \alpha p_p}{\omega};$$

pour le champ d'excitation, ce temps est

$$\frac{n'2\pi + \alpha p_e}{\omega}.$$

(1) H. de Pistoye. *Loc. cit.*

Ces deux temps sont égaux puisqu'il y a coïncidence ; on a donc

$$2\pi n - \alpha p_p = 2\pi n' + \alpha p_e,$$

d'où l'on tire

$$\alpha = \frac{2\pi(n - n')}{p_p + p_e} = \frac{2\pi(n - n')}{p_e};$$

n et n' étant des entiers quelconques, la plus petite valeur de α est

$$\alpha = \frac{2\pi}{p_e}.$$

Si on cherchait les coïncidences des pôles sud, il suffirait de remplacer n et n' par des nombres entiers augmentés de 0,5 ; les valeurs de α seraient les mêmes.

Si les deux champs tournaient dans le même sens, on aurait

$$\alpha = \frac{2\pi}{p_p - p_e} \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{2\pi}{p_e - p_p},$$

ce qui, dans tous les cas, est égal à $\frac{2\pi}{p_e}$.

On verrait aisément qu'à égale distance des maxima précédents se trouvent des minima où les deux flux sont en opposition ; entre les maxima et les minima, les variations de flux sont sinusoïdales. On a donc à la périphérie un nombre de points égal au nombre de paires de pôles du collecteur où les deux champs s'ajoutent à certains instants ; aux points équidistants des précédents, les deux champs se retranchent.

Dans le cas où $p_e = 4$, cela conduit à découper les tôles du stator en carré à angles abattus (fig. 18) les

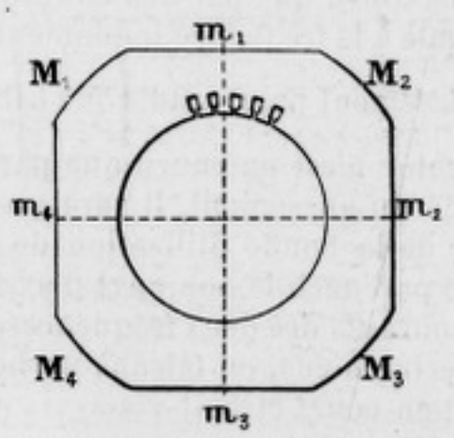


Fig. 18. — Tôle découpée en carré à angles abattus pour $p_e = 4$.

maxima du champ tombant en M_1, M_2, M_3, M_4 et les minima en m_1, m_2, m_3, m_4.

Bien entendu, ce mode de découpage n'a rien d'obligatoire, l'induction étant simplement variable d'un point à l'autre si la section de fer est constante.

On verrait d'ailleurs aisément que dans la culasse le flux se reporte des zones les plus saturées sur les zones les moins saturées, de sorte que les variations de l'induction sont moindres qu'il ne semblerait à première vue.

Pour déterminer les positions des maxima du flux dans la culasse, on peut raisonner comme suit : considérons une bobine d'excitation B du stator (bobinage d'excitation combiné représenté sur la figure 19) ; la force électromotrice y est maximum quand le flux qui la traverse est nul.

De plus, les forces électromotrices dues aux deux flux principal et d'excitation sont égales et opposées. Les deux flux dans l'entrefer sont donc nuls dans l'axe

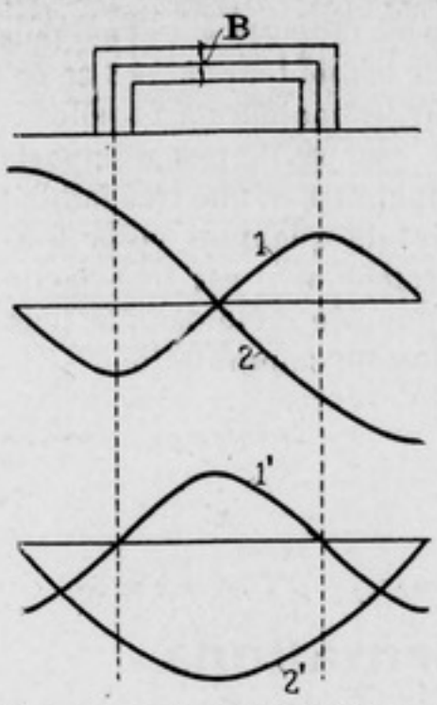


Fig. 19. — Diagramme de détermination de la position des maxima du flux résultant dans la culasse.

de la bobine et leurs lois de variation sont contraires, comme il est représenté par les sinusoïdes 1 (flux d'excitation) et 2 (flux principal).

Dans la culasse le flux est maximum quand il est nul dans l'entrefer ; le flux dans la culasse affecte donc la répartition des sinusoïdes 1' et 2'. On voit donc qu'en face de l'axe de la bobine les deux flux se retranchent ; on a donc déterminé la position d'un minimum du flux. Connaissant la position d'un minimum du flux, tous les autres maxima et minima s'en déduisent.

Pour deux pôles, on a un bobinage d'excitation à 6 pôles, diphasé, dont deux bobines (une de chaque phase) ont plus de spires que les autres ; le raisonnement précédent est applicable seulement à ces deux bobines, puisque la force électromotrice induite par le flux principal dans le bobinage d'excitation est produite dans ces bobines ; on a donc deux minima à angle droit, ce qui correspond bien à une répartition de 4 minima et 4 maxima ($p_c = 4$).

Pour 4 pôles, le bobinage d'excitation est à 8 pôles triphasé, dont trois bobines ont plus de spires que les autres, d'où 6 maxima et 6 minima du flux ($p_c = 6$).

A 6 pôles, le bobinage d'excitation est diphasé bipolaire ; on a deux bobines de chaque phase, 4 maxima et 4 minima ($p_c = 4$).

Pour 8 pôles, le bobinage d'excitation est triphasé à quatre pôles, ce qui correspond à 6 bobines, avec 6 maxima et 6 minima du flux ($p_c = 6$).

A 10 pôles, si les deux champs tournent en sens inverse, le bobinage d'excitation est triphasé bipolaire, avec six bobines, donnant 6 maxima et 6 minima du flux ($p_c = 6$).

7. Choix pratique du nombre de pôles d'excitation et du sens de rotation de ce champ. — On est guidé dans ce choix par plusieurs considérations.

1° *Règle démontrée plus haut.* — Suivant cette règle concernant les nombres de pôles, p_p et p_e doivent être ensemble pairs ou impairs ;

2° *Utilisation de la matière du moteur* — Il y a à loger dans les encoches, aussi bien du stator que du rotor, un bobinage d'excitation en plus du bobinage principal. Bien que ce bobinage d'excitation soit, en général, assez peu important, il tient néanmoins une place appréciable.

La puissance possible pour le moteur sera d'autant plus grande que l'on pourra loger plus d'ampères-tours du circuit principal et, par conséquent, qu'il y aura moins d'ampères-tours d'excitation. Il en est de même pour les flux : la présence du flux d'excitation oblige à donner aux inductions pour le flux principal des valeurs plutôt modérées. Il y a donc intérêt à réduire les ampères-tours et le flux d'excitation. Comme la puissance d'excitation dont on a besoin est déterminée, le moyen de réduire au minimum les ampères-tours et le flux d'excitation consiste à adopter la plus grande valeur possible pour la vitesse relative du rotor et du champ d'excitation. Cette vitesse relative sera d'autant plus grande que

a) Les deux champs tourneront en sens inverse ;

b) La vitesse propre du champ d'excitation sera plus grande, c'est-à-dire que p_e sera plus petit.

Pour bien illustrer l'intérêt du sens de rotation inverse des deux champs, il suffit de voir ce qui se passe pour les moteurs à 4 et à 8 pôles avec les deux sens de rotation :

Avec $p_p = 2$ et $p_e = 4$ ou $p_p = 4$ et $p_e = 2$, à 50 p : s, on a comme vitesse relative du rotor et du champ d'excitation, au glissement près, 1 500 + 750 = 2 250 t : mn avec sens de rotation inverse et 1 500 − 750 = 750 t : mn avec même sens de rotation ; la vitesse relative du rotor et du champ d'excitation est donc triplée en passant d'un sens de rotation à l'autre ; le produit des ampères-tours d'excitation par le champ d'excitation est donc trois fois plus petit pour des sens de rotation inverses que pour le même sens de rotation des deux champs.

Avec le même sens de rotation des deux champs, le rendement des petits moteurs serait notablement abaissé et la puissance serait diminuée.

Pour les moteurs à 2,6 et 12 pôles la différence des vitesses de rotation serait simplement de 1 à 2, soit 3000 + 1 000 = 4 000 t : mn ou 3 000 − 1 000 = 2000 t : mn à 2 et à 6 pôles et la moitié de ces nombres à 12 pôles.

On a d'ailleurs intérêt à avoir des valeurs faibles de p_e, car le courant magnétisant du champ d'excitation

est d'autant plus grand que le nombre de pôles d'excitation est plus grand, de même que dans les moteurs asynchrones, le courant magnétisant est plus grand pour les moteurs à grand nombre de pôles que pour ceux à petit nombre de pôles. Déjà pour les moteurs à 4 pôles avec champ d'excitation à 8 pôles ($p_p = 2$, $p_e = 4$), le courant magnétisant du champ d'excitation est, en général, plus grand que celui qui équilibre la force magnétomotrice du bobinage du rotor. Pour ne pas augmenter les ampères-tours d'excitation du stator, on a donc intérêt à adopter de faibles valeurs de p_e.

Enfin, la diminution des ampères-tours et du flux d'excitation réduisent les pertes d'excitation et améliorent par conséquent le rendement de la machine.

On est ainsi conduit aux valeurs du tableau I.

3° *Adoption de bobinages d'excitation de stator combinés.* — Nous avons vu que, pour les valeurs usuelles de p_e, les bobinages d'excitation combinés ne sont possibles que si les deux champs tournent en sens inverse ; ceci est une raison de plus pour l'adoption d'un champ d'excitation tournant en sens inverse du champ principal.

4° *Conséquences de l'adoption des sens inverses de rotation des champs.* — Avec les sens inverses de rotation des deux champs, les connexions au collecteur ne sont pas inversées, ce qui simplifie la fabrication. L'adoption de sens de rotation inverses l'un de l'autre pour le champ principal et pour le champ d'excitation a, il est vrai, un petit inconvénient : il augmente le nombre de pôles du collecteur puisque, dans ce cas, $p_c = p_p + p_e$; c'est ainsi que l'on a des collecteurs à :

8 pôles pour les moteurs à 2 et à 6 pôles ;
12 pôles pour les moteurs à 4, 8 et 10 pôles ;
16 pôles pour les moteurs à 12 pôles.

En pratique, ceci est de peu d'importance, car, pour faire de la compensation, une très faible tension d'excitation de l'ordre de quelques volts (5 à 10) est nécessaire au collecteur et il est très facile de l'obtenir avec un petit nombre de lames par pôle, sans rencontrer de difficultés de commutation.

(*A suivre*).

H. DE PISTOYE.

Revues, analyses et informations

Le réglage des postes récepteurs de T. S. F. par l'emploi des dispositifs de repérage nominal « valundia » (1).

1. NÉCESSITÉ DU DISPOSITIF. — Dans une note publiée dans notre revue (2) en 1928, nous avons déjà eu l'occasion de mentionner ce dispositif de réglage imaginé par M. J.-L. Routin et d'en préciser le rôle. Si, comme le fait remarquer M. Routin, les perfectionnements apportés dans la réalisation des appareils et des systèmes de réglage des postes récepteurs de téléphonie sans fil, inductances, condensateurs, lampes, permettent d'obtenir toute la précision voulue, l'opération du réglage reste encore très délicate ; et cependant, le nombre des postes émetteurs augmentant, les écarts entre les longueurs d'onde utilisées diminuent ; la solution « mécanique » du problème du réglage du poste récepteur sur une longueur d'onde donnée s'impose. Ajoutons qu'elle est réalisée dans le dispositif de M. Routin, dispositif dit « valundia » que nous nous proposons de décrire.

2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES DISPOSITIFS « VALUNDIA ». — Sur la figure 1 est représenté un tableau de repérage sur lequel nous reviendrons plus loin ; ce tableau porte une ou plusieurs échelles de repérage qui, complètement indépendantes de l'étalonnage de chaque récepteur, portent des traits équidistants et sont graduées directement en longueurs d'onde ; elles portent, en outre, gravées sur un organe amovible, les listes des noms des principales stations émettrices.

Il suffit donc de contracter un abonnement à l'édition périodique des listes pour pouvoir tenir compte, avec la plus grande facilité, des modifications qui sont assez fréquemment apportées dans la répartition des longueurs d'onde.

Le réglage s'obtient toujours, même dans le cas où le récepteur comporte deux accords indépendants, à l'aide d'une visée unique faite sur l'échelle de repérage.

Enfin, tous les combinateurs sont commandés simultanément à l'aide d'un levier unique qui agit également sur la permutation des échelles de repérage, de telle façon que l'appareil est toujours en état de permettre la réception de l'une quelconque des stations dont les noms peuvent être lus sur la liste qui est mise en évidence.

3. DESCRIPTION DU TABLEAU DE REPÉRAGE ET MODE D'EMPLOI. — Le type normal que nous décrivons ici est établi pour le cas de deux réglages indépendants et de deux gammes de longueurs d'onde. En 11 et 12 (fig. 1) sont représentées les deux échelles fixes, correspondant, la première à la gamme des petites longueurs d'onde et la deuxième à la gamme des grandes longueurs d'onde. Les tambours cylindriques 13 et 13′ peuvent tourner autour des axes fixes 14 et 14′ et transmettent leur mouvement aux condensateurs réglables par l'intermédiaire des chainettes métalliques 17 et 17′ fixées respectivement sur les poulies 16 et 16′, elles-mêmes solidaires des tambours 13 et 13′, et sur les poulies montées sur les axes des dits condensateurs. Ces mêmes tambours portent les index curvilignes 18 et 18′ correspondant aux petites ondes, 19 et 19′, aux grandes ondes ; ces courbes sont tracées lors de l'étalonnage que nous décrivons plus loin.

La commande s'effectue par un levier, non représenté sur la figure 1, qui agit sur l'arbre 6 ; celui-ci porte les deux combinateurs 7 et 8 et, de plus, une mortaise 4, laquelle est destinée à recevoir le volet amovible. Sur la face avant de ce volet se trouve la bande centrale d'une échelle à graduations équidistantes sur laquelle sont inscrits de 100 m en

(1) J.-L. ROUTIN. *L'Industrie électrique*, 25 octobre 1929, t. XXXVIII, p. 466-473, 2 500 mots, 8 figures.
(2) *Revue générale de l'Électricité*, 18 février 1928, t. XXIII, p. 331-332.

100 m, les nombres qui indiquent les longueurs d'onde pour la gamme des petites ondes. C'est sur cette même face que sont indiqués, en outre, de chaque côté de la bande centrale, les noms des principales stations émettrices com-

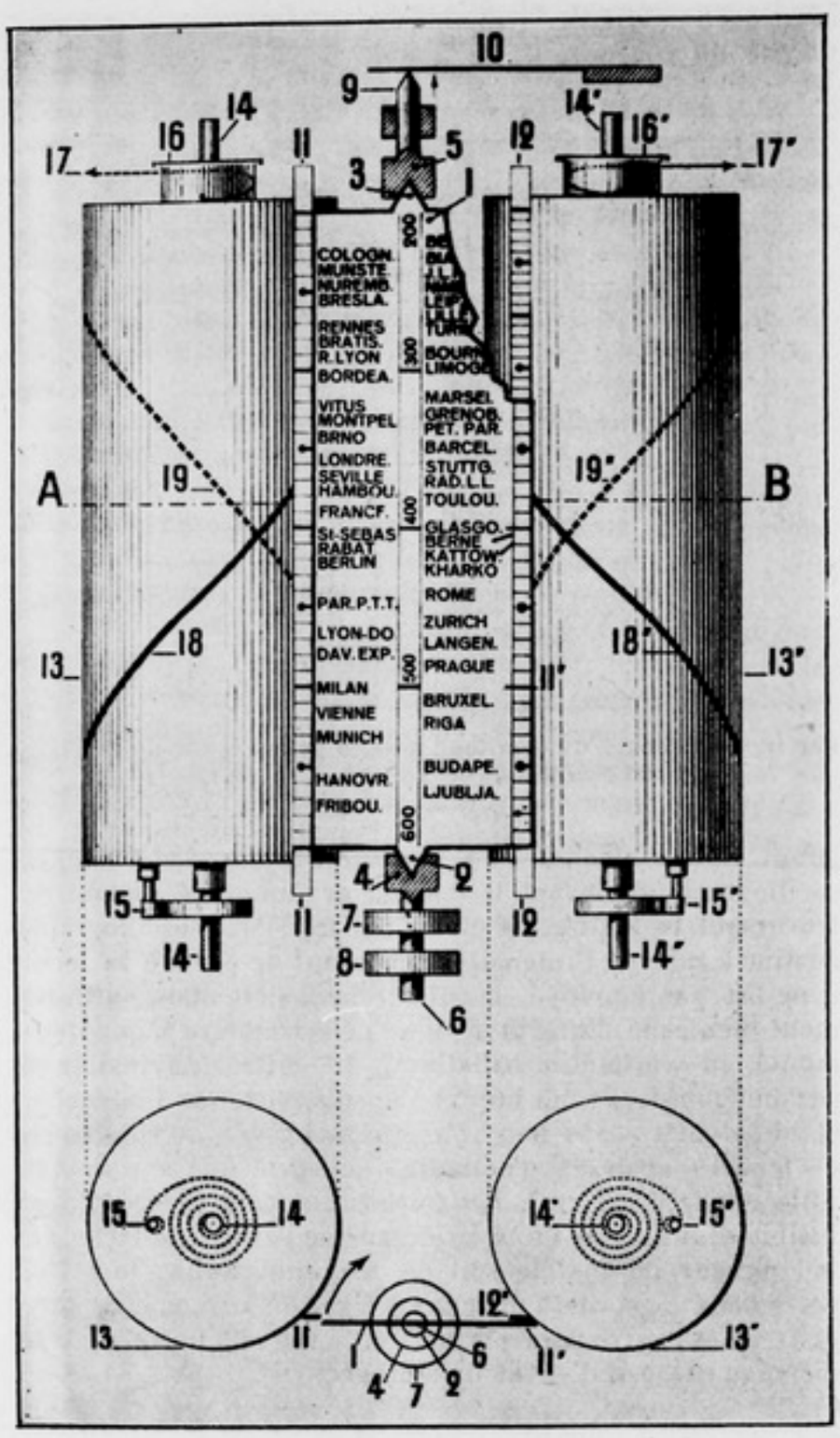


Fig. 1. — Vue schématique du tableau de repérage du type normal « valundia ».

prises dans la gamme des petites ondes, à la hauteur de la longueur d'onde correspondante. Cette face porte enfin, sur son côté droit, qui masque l'échelle 12, la reproduction 11' de la réglette 11 dont les graduations donnent les subdivisions des longueurs d'onde, de 10 m en 10 m.

La face arrière du volet porte de même, et avec des dispositions analogues, toutes les indications correspondantes pour la gamme des grandes longueurs d'onde.

On passe de la gamme des petites ondes à celle des grandes ondes en faisant tourner l'arbre 6 dans le sens indiqué par la flèche. Le volet amovible 1 étant entraîné par friction, il suffit que la mortaise 4 fasse, à chaque manœuvre, un peu plus d'un demi-tour pour que le volet prenne automatiquement une position correcte en venant, suivant le cas, buter contre 11 ou contre 12. Pour recevoir les émissions d'une station émettrice déterminée sur un poste récepteur équipé avec ce dispositif, il suffit, à l'aide du levier agissant sur l'arbre 6, de mettre en évidence l'échelle de repérage qui comprend la station cherchée et d'agir sur les tambours 13 et 13' par l'intermédiaire de deux boutons de manœuvre non figurés sur la vue schématique, de façon que les index ayant la couleur de l'échelle utilisée coupent les bords de ladite échelle à la hauteur qui correspond à la station cherchée.

4. Etalonnage du dispositif. — Les tracés des index curvilignes 18, 18' et 19, 19' s'obtiennent de la façon suivante : après avoir réglé les condensateurs pour recevoir les émissions d'une station déterminée, on marque, sur les cylindres 13 et 13' et suivant les génératrices qui correspondent aux deux arêtes verticales extérieures des réglettes fixes, les deux points qui se trouvent à la hauteur de la graduation horizontale pour laquelle le réglage a été effectué. On répète la même opération pour un certain nombre de stations ; puis on réunit les points de repérage par un trait continu.

Il est clair que les deux courbes ainsi obtenues donnent l'étalonnage complet du récepteur et qu'elles permettent, non seulement de retrouver les réglages correspondant aux stations qui ont été repérées directement, mais encore de trouver les réglages qui donnent toutes les stations dont les noms figurent sur les listes. En employant la graduation en longueurs d'onde, ces courbes peuvent d'ailleurs être utilisées également pour trouver les réglages correspondant aux stations dont les noms ne figureraient pas sur les listes.

5. Bloc de réglage. — Le bloc de réglage comporte, outre les organes de repérage, deux condensateurs variables représentés sur la figure 2, deux combinateurs et leur com-

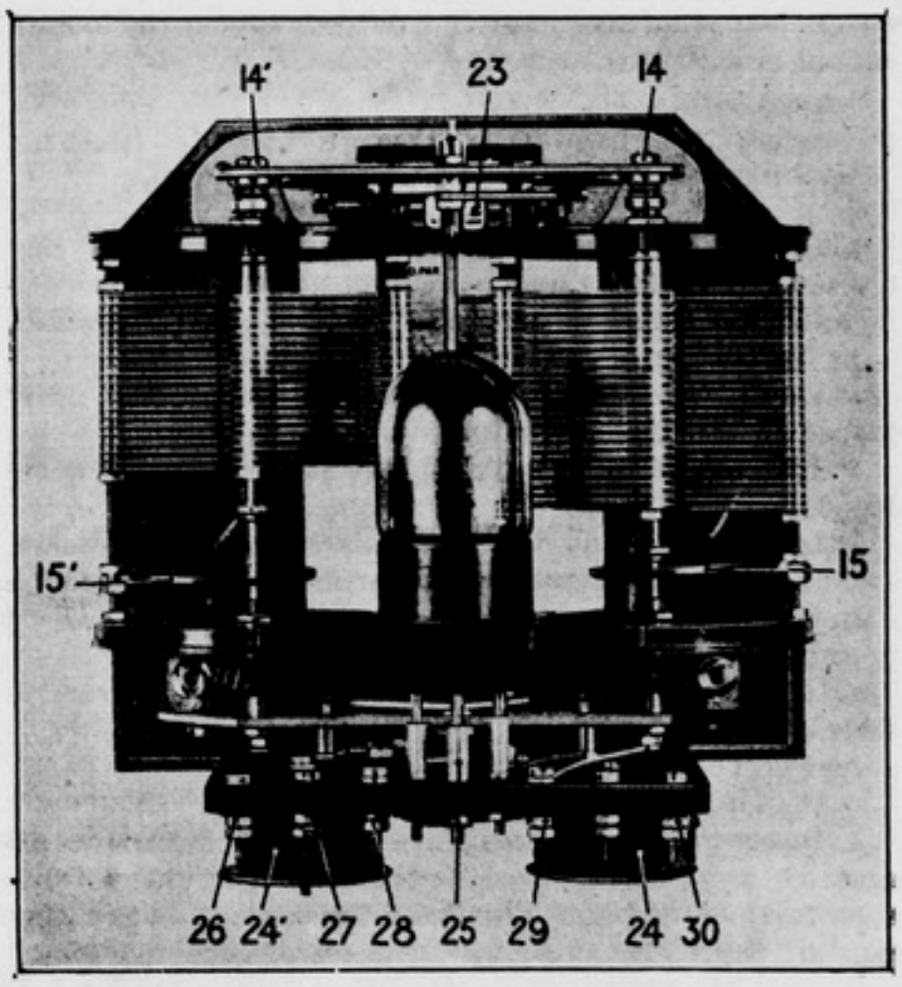


Fig. 2. — Vue du bloc de réglage.

mande conjuguée, deux bobines oscillatrices 24 et 24' et une lampe bigrille 25. On remarque que, dans le modèle représenté sur cette figure, les condensateurs sont logés à l'inté-

rieur des cylindres 13 et 13'. Les connexions indiquées se rapportent à un poste superhétérodyne.

6. Conclusion. — Le dispositif présente un certain nombre d'avantages parmi lesquels nous mentionnons la possibilité d'éliminer les interférences qui se présentent fréquemment avec les postes de réception superhétérodynes.

On sait en effet que, pour chaque position du condensateur de l'hétérodyne, on peut recevoir les émissions faites sur deux longueurs d'onde différentes, l'écart correspondant au double de la valeur admise pour la moyenne fréquence. Il y a donc le plus grand intérêt à tracer, pour chaque gamme, les deux index qui correspondent à chacun des réglages indiqués ci-dessus car, en cas d'interférence, en utilisant l'un d'eux, on pourra passer instantanément sur l'autre. De plus, l'emploi des deux index fait connaître les noms des stations qui sont susceptibles d'interférer avec la station cherchée, d'où une indication précieuse sur l'orientation qu'il convient de donner au cadre pour mieux éliminer les ondes parasites.

Un autre avantage résulte de la facilité de substituer des listes mises à jour aux listes périmées, ceci par simple remplacement du volet. De plus, le dispositif « valundia » permet, non seulement d'effectuer le réglage correspondant à une station émettrice déterminée, mais encore de trouver toutes les stations qui font des émissions à un instant donné : en effet, en réglant les index curvilignes de façon qu'ils coupent les lignes de repérage à la même hauteur, on effectue l'exploration méthodique de la « vallée des ondes », d'où le nom de « valundia » donné à l'appareil que nous venons de décrire.

Nous n'insisterons pas, enfin, sur la simplicité des manœuvres, ni sur la possibilité d'employer le dispositif en question avec un récepteur de type quelconque sans modifications importantes. — A. C.

Pression développée par la fusion de fusibles ou l'établissement d'arcs en vase clos (1).

1. Généralités. — Dans cette publication l'auteur expose les résultats obtenus avec une intensité de courant atteignant 10 000 A sous une tension de 600 V en courant continu.

Le but des essais ainsi effectués a été de déterminer :

1° L'effet de l'intensité du courant sur la pression développée en vase clos par la fusion d'un fil de cuivre;

2° L'influence de la durée de l'arc sur la pression développée;

3° Les variations du taux d'accroissement de la pression, et de la valeur maximum de cette pression, dans l'explosion d'un mélange d'air et de méthane, lorsque l'inflammation est produite par la fusion d'un fusible;

4° L'influence du volume du vase clos sur la pression développée, sur la durée d'établissement de l'arc et sur la valeur de l'énergie mise en jeu dans l'arc.

2. Dispositifs expérimentaux. — L'énergie électrique nécessaire à ces expériences était fournie par une batterie d'accumulateurs, dont l'intensité du courant de décharge pouvait être réglée entre 600 et 10 000 A, au moyen de résistances. Les variations de tension et de courant pendant les expériences ont été relevées au moyen de trois oscillographes inscrivant sur un même tambour. L'énergie mise en jeu par la fusion d'un fusible ou lors de la formation d'un arc a été mesurée au moyen d'un électromètre à quadrants employé comme wattmètre balistique. Un pendule, commandant un contacteur, permettait de faire varier le temps pendant lequel on faisait passer le courant.

La figure 1 donne le schéma du montage employé dans ces essais. G désigne la résistance variable pour régler l'intensité du courant, H, le fusible dans son coffret, J, un

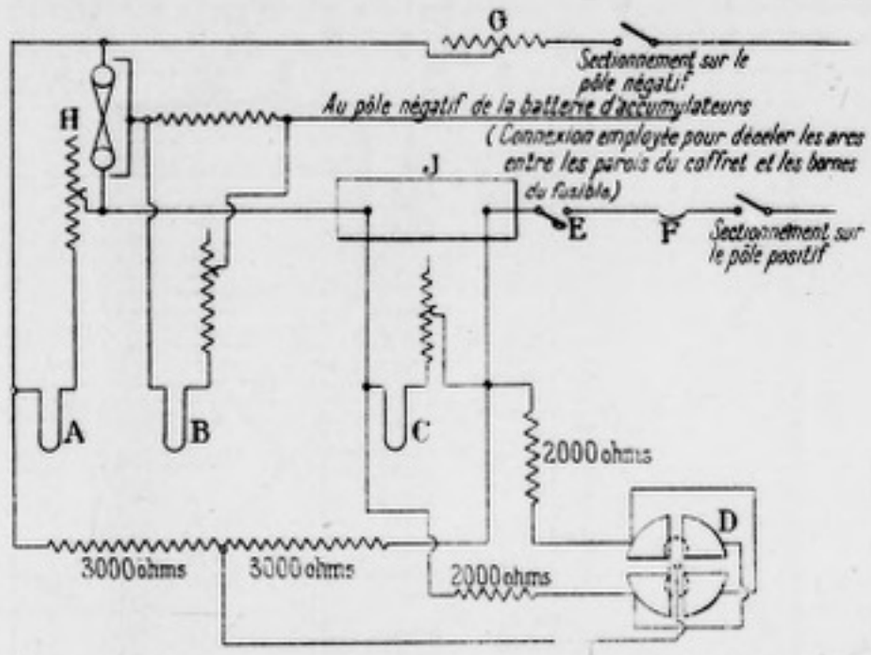


Fig. 1. — Schéma du montage adopté pour l'étude de la fusion de fusibles et de l'air en vase clos.

shunt, E, le contacteur et F, un interrupteur. A et C sont les oscillographes relevant la tension et l'intensité du courant traversant le fusible, B étant un troisième oscillographe destiné à relever l'intensité du courant de perte à la terre; il ne fut pas employé, le coffret de fusible étant suffisamment bien isolé. Enfin D désigne l'électromètre à quadrants monté en wattmètre balistique. Le coffret du fusible est parallélépipédique, en bronze phosphoreux, ses dimensions étant 305 mm × 152 mm × 177 mm et garni intérieurement de feuilles épaisses d'amiante, en sorte que son volume utile est de 6 542 cm³. Les bornes amenant le courant au fusible sont placées l'une au-dessus de l'autre, de façon que la longueur de fusible soit de 101 mm. Enfin, le coffret porte deux raccords, l'un pour y fixer un manomètre enregistreur et l'autre pour permettre de remplir le coffret d'un mélange explosif d'air et de méthane.

3. Résultats expérimentaux. — Les résultats expérimentaux sont donnés dans des tableaux et par des courbes. Ils peuvent être résumés comme suit :

1° *Influence de l'intensité de courant.* — Les mesures furent effectuées avec des fils de cuivre étamé de trois grosseurs différentes : n° 13, 16 et 18 S. W. G (2,3; 1,6 et 1,2 mm de diamètre), l'intensité du courant variant de 740 à 3 700 A. Il faut d'abord remarquer que, par suite de leur disposition, les bornes d'amenée du courant forment avec le fusible une boucle en forme de U, qui produit un certain soufflage magnétique de l'arc : la force ainsi exercée a été trouvée égale à 0,041 I^2 dynes par l'auteur, I étant l'intensité du courant exprimée en kiloampères. D'autre part, il était nécessaire après chaque essai de nettoyer intérieurement le coffret pour enlever le dépôt d'oxyde de cuivre et de poudre de cuivre qui aurait pu former une couche conductrice et entraîner, comme cela s'est produit une fois, l'amorçage d'un arc entre les bornes et la masse du coffret et son maintien après la fusion du fusible.

(1) G. Allsop. *Safety in Mines Research Board Paper*, n° 52, p. 3-19, 3 300 mots, 6 figures, 6 tableaux.

Avec le fil n° 18 S.W.G. l'augmentation de l'intensité du courant a entraîné une diminution nette de la durée de l'arc, définie comme l'intervalle de temps compté depuis le commencement de l'arc jusqu'au moment où l'intensité du courant redevient nulle. L'énergie dans l'arc et la pression maximum croissent avec l'intensité du courant; mais l'action la plus marquée est celle sur le taux d'accroissement de la pression, qui augmente rapidement avec l'intensité du courant. Les résultats obtenus avec le fil n° 16 S.W.G sont tout à fait comparables; toutefois la pression maximum et l'énergie dans l'arc varient entre des limites plus larges. Avec le fil n° 13 S. W. G les pressions maxima et l'énergie dans l'arc furent plus élevées qu'avec les deux autres fils ; mais l'accroissement de pression s'est fait plus régulièrement, probablement parce que le temps mis par les fils de plus grand diamètre pour fondre et se vaporiser est plus long.

Dans tous les cas, la longueur de 101 mm du fusible a été suffisante pour assurer l'extinction de l'arc.

2° *Influence de la durée de l'arc.* — Elle a été étudiée par l'auteur en faisant éclater un arc entre deux électrodes de 12,5 mm de diamètre distantes de 15,8 mm et réunies pour amorcer l'arc par un ou deux fils de cuivre étamé n° 23 S.W.G (0,6 mm de diamètre). Le circuit employé était le même que précédemment avec, toutefois, adjonction d'une bobine de self-inductance de 0,000283 henry pour pouvoir maintenir l'arc pendant quelques dixièmes de seconde. L'auteur a observé que, pour une intensité constante du courant au début de l'arc, la pression maximum croît avec la durée de l'arc, mais non linéairement, ainsi que le montre la figure 2.

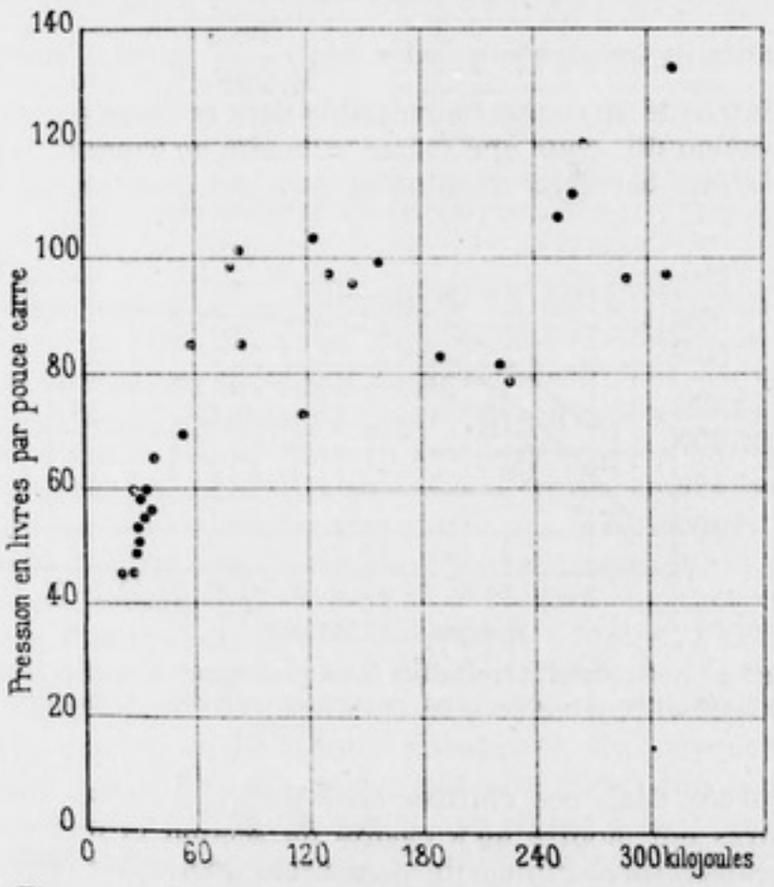


Fig. 2. — Résultats d'essais montrant les variations de la pression en fonction de l'énergie.

Lorsque la durée de l'arc augmente assez, le taux d'accroissement de la pression diminue, et celle-ci reste même constante pendant une partie du temps, parce qu'il s'est établi un équilibre entre la formation et la condensation de vapeur métallique.

On peut dire, d'après les résultats des essais de l'auteur, qu'avec un coffret de même volume intérieur que celui du coffret employé, il n'y a pas à craindre le développement de pression dangereuse en cas de formation d'un arc sous 600 v avec des intensités de courant de 4 000 a au plus, à condition que le circuit comporte un interrupteur capable de couper le courant assez rapidement. En effet, avec un arc de longue durée il y a danger que celui-ci ne s'établisse entre une des électrodes et la masse du coffret, qui peut être fondu en ce point.

3° *Inflammation d'un mélange explosif d'air et de méthane par la fusion d'un fusible.* — Le mélange explosif introduit dans le coffret contenait 10 pour 100 de méthane, et son inflammation était produite par la fusion de fils de cuivre n° 13, 16 et 18 S.W.G. sous l'effet d'un courant de court-circuit et du courant de plus faible intensité produisant cette fusion. On constata d'abord que la pression développée et le temps nécessaire pour atteindre la pression maximum sont, pour chaque valeur du courant, indépendants du diamètre du fil et de la durée de l'arc. La pression croît très légèrement avec l'intensité du courant. Les résultats observés ont confirmé les conclusions tirées des expériences faites avec des puissances moins élevées, à savoir : 1° que la pression maximum développée par l'ignition d'un mélange explosif au moyen de la fusion d'un fusible n'est pas la somme des pressions maxima dues séparément à l'explosion du mélange et à la fusion du fusible; 2° que l'arc dure moins longtemps dans un mélange explosif que dans l'air.

4. Influence du volume du coffret. — La variation du volume intérieur du coffret a été obtenue au moyen de pièces en bois garnies d'amiante fixées sur les parois. Des fils n° 13 et 18 S. W. G. ont été fondus soit au moyen d'un courant de court-circuit, soit par un courant d'une intensité de l'ordre de 2 800 a environ sous une tension de 600 v dans les deux cas. On a constaté que dans le premier cas le volume du coffret est sans effet sur la pression développée, sur la durée de l'arc et sur son énergie, tandis que dans le second cas, ces trois éléments ont tendance à augmenter quand le volume du coffret diminue. Il semble, que l'augmentation de la durée de l'arc soit due à la formation d'un dépôt de cuivre sur les parois du coffret, formant ainsi un chemin conducteur emprunté par le courant et conduisant à une longueur d'arc plus faible que celle résultant de l'écartement des électrodes. — J. S.

Intensité de courant admissible dans les barres générales (1).

Lorsque l'intensité du courant dans des barres générales dépasse 2 000 a, la règle d'une densité de courant de 1,55 a : mm² (1 000 a par pouce carré) n'est plus applicable dans l'évaluation de la section de cuivre nécessaire. Celle-ci doit être déterminée par l'élévation de température admissible aux points les plus chauds.

A ce point de vue, les conducteurs à section rectangulaire sont préférables à ceux à section ronde. Mais en outre, dans le cas de barres générales constituées par plusieurs de ces conducteurs, leur disposition n'est pas indifférente. Des mesures ont, en effet, montré que dans le cas de barres plates placées côte à côte, le gain de courant total admissible pour une même élévation de température est loin d'être proportionnel au nombre de barres. Ainsi pour des barres de 242 mm² de section ainsi disposées, le courant

(1) H.-W. Parsi. *Electrical World*, 21 septembre 1929, t. xciv, p. 569-572, 2 500 mots, 11 figures.

total admissible est de 600 A pour une barre, de 2 000 A environ pour 4 barres, de 2 500 A seulement pour 7 barres et n'atteint que 2 900 A pour 12 barres.

Se basant sur la meilleure utilisation du cuivre, obtenue par la substitution de conducteurs ronds creux aux conducteurs pleins, l'auteur a imaginé un groupement des barres plates dénommé « section carrée creuse modifiée » qui se rapproche de la section tubulaire tout en conservant les avantages de la barre plate. Celles-ci sont, bien entendu, disposées dans ce groupement de telle sorte que leur grand côté soit placé verticalement de façon à profiter de l'effet de circulation naturelle d'air qui se produit entre barres voisines. Il a procédé à un grand nombre de mesures sur divers arrangements de barres plates représentés sur la figure 1. Les barres employées avaient une section de 101,6 mm × 6,35 mm, soit 645 mm². Tous les essais ont été effectués avec du courant alternatif triphasé à 60 p : s, la longueur des barres générales soumises à ces essais étant de 4,25 m environ.

Comme il est dit plus haut, c'est l'élévation de température des conducteurs qui limite l'intensité de courant admissible. D'autre part, pour des raisons de sécurité, cette élévation de température ne doit pas dépasser celle admissible pour les appareils connectés aux barres générales, à moins que les conducteurs de branchement de ces appareils ne soient de section suffisante pour dissiper la quantité de chaleur correspondant à la différence des deux élévations de température admises. En général, on se base pour les barres générales sur une élévation maximum de température aux points les plus chauds de 35°C, ce qui, pour une température ambiante de 40°C, donne une température en ces points de 75°C. L'élévation moyenne de température correspondante admise est de 30°C.

Dans les essais effectués par l'auteur, les températures ont été relevées au moyen de couples thermoélectriques placés à mi-longueur des barres et en différentes positions autour d'elles. Le tableau ci-après résume quelques-uns des résultats obtenus. Les arrangements marqués d'un astérisque sont ceux que des limitations d'espace disponible peuvent imposer, alors qu'ils ne sont pas les meilleurs au point de vue de l'intensité de courant admissible.

Indice repère de l'arrangement d'après la figure 1.	Nombre de barres.	Intensité de courant admissible pour une élévation de température de 35°C
A	1	1 300 A
B*	2	2 200
D	2	2 600
E*	3	2 350
I	3	3 400
J*	4	3 000
L	4	4 200
N	6	5 400
O	8	6 000

Il faut en outre signaler que l'emploi de barres générales constituées par plusieurs conducteurs en parallèle a l'avantage de permettre une diminution notable de la chute de tension inductive qui se produit dans les barres générales à basse tension et à forte intensité de courant. Dans le cas où il n'y a qu'un conducteur par phase, il faut les éloigner assez fortement l'un de l'autre pour éviter l'effet électromagnétique qui tend à modifier la distribution de la densité de courant dans la section du conducteur en l'accroissant vers les côtés se faisant face. Lorsqu'on emploie des barres multiples, on peut diminuer notablement leur distance en les disposant de façon que les phases alternent dans l'ordre A B C A B C, etc.

L'intensité de courant admissible dans des barres générales dépend de l'état de la surface des conducteurs qui produit des variations de la dissipation de la chaleur. A ce point de vue une surface terne est préférable à une sur-

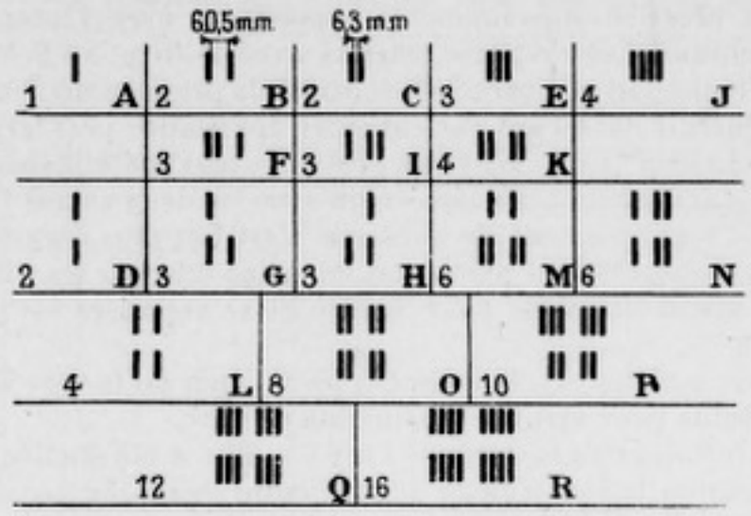


Fig. 1. — Arrangements divers de barres plates pour lesquels l'intensité de courant admissible a été déterminée expérimentalement

face brillante. Cette intensité admissible est, d'autre part, fonction du nombre de watts à dissiper. Il s'ensuit que si l'on remplace le cuivre par l'aluminium pour constituer des barres générales, dont la conductibilité est dans le rapport de 60,9 pour l'aluminium à 99 pour le cuivre, l'intensité du courant admissible dans une barre d'aluminium sera, à section et à élévation de température égales, de $\sqrt{\frac{60,9}{99}} = 78,5$ pour 100 de l'intensité de courant admissible dans la barre de cuivre. Autrement dit, pour une même intensité de courant, la section d'une barre en aluminium sera 127 pour 100 de celle

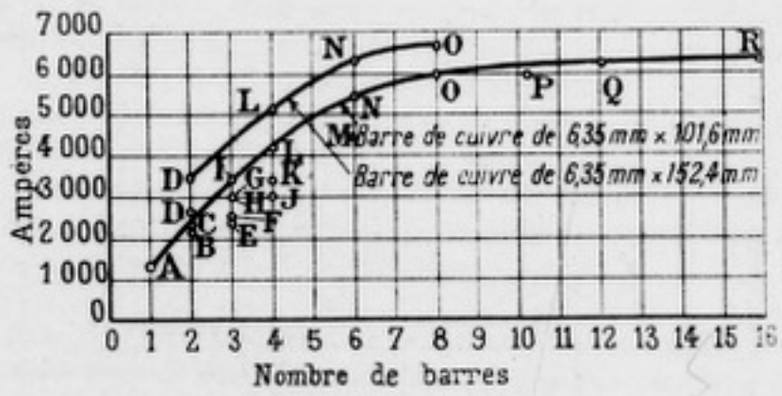


Fig. 2. — Courant admissible à 60 p : s pour une élévation de température de 30°C. Les lettres se réfèrent à la figure 1.

en cuivre. Mais ces chiffres sont théoriques alors que les mesures ont montré qu'à égalité de section et d'élévation de température, l'intensité de courant admissible dans des barres en aluminium est de 80 à 82 pour 100 dans des barres en cuivre.

D'autre part, tous les essais ont été effectués en maintenant un écartement de 457 mm d'axe en axe entre conducteurs d'aller et de retour, écartement qu'il est conseillé d'observer pour autant que l'espace disponible le permet. La figure 2 donne les intensités de courant admissibles pour les différents arrangements de la figure 1 ; ceux dont les points tombent sur la courbe correspondent à la meilleure utilisation du cuivre. Une étude spéciale doit être élaborée

dans le cas de courants d'intensité supérieure à 6 000 A. — J. S.

La commande des circuits d'éclairage public avec lampes montées en parallèle (1).

L'éclairage public avec lampes montées en parallèle se développe de plus en plus, mais il soulève quelques problèmes nouveaux pour la commande d'un grand nombre de lampes ainsi connectées. Des trois systèmes de commande possibles, celui au moyen d'un fil pilote est le plus employé et fait l'objet de l'étude exposée dans cet article. La figure 1 montre un schéma de système de commande par fil pilote de lampes montées en parallèle dans lequel ce fil reste sous tension pendant le jour et isolé dès que les lampes sont allumées. De cette façon, si un défaut se produit dans le circuit de commande, il ne peut qu'en résulter un allumage intempestif des lampes, mais non leur extinction alors

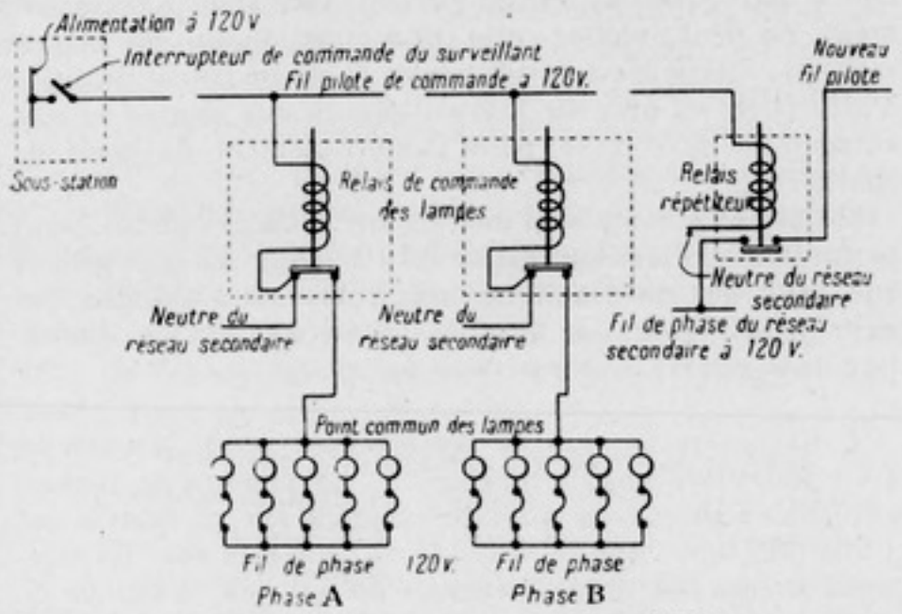


Fig. 1. — Schéma des connexions du dispositif de commande des circuits d'éclairage public.

qu'elles devraient être allumées. A un même fil pilote ne peuvent être branchés qu'un nombre limité de relais, et dès que la tension du fil tombe au-dessous de 105 v par suite de sa longueur, il faut monter un relais qui met sous tension un nouveau fil pilote alimenté par le réseau secondaire de distribution. Les difficultés rencontrées avec ce système sont inhérentes aux relais de commande des lampes, dont les contacts doivent être établis pour pouvoir supporter le gros afflux de courant qui se produit à l'instant de mise sous tension des lampes. Des oscillogrammes furent d'ailleurs relevés pour déterminer les caractéristiques des lampes à ce point de vue et des mesures de résistance furent effectuées sur des lampes de différentes puissances. En moyenne, la résistance à chaud est quinze fois plus forte que celle à froid, mais l'intensité du courant de pointe à la fermeture du circuit n'est que de neuf fois celle du courant normal pour des lampes de 100 w et sept fois pour des lampes de 1 000 w. La chute de tension résultant de la mise en circuit des lampes varie de 22 pour 100 à 77 pour 100.

En plus de l'action destructive directe sur les contacts des relais, exercée par ces courants de grosse intensité, on a constaté dans certains cas une altération des ressorts plats ou en spirale servant à maintenir une pression sur les contacts et aussi la fusion des compounds d'imprégnation des bobines des relais.

Dans le but de déterminer les caractéristiques d'un relais susceptible de fonctionner de façon satisfaisante dans les conditions ainsi expliquées, des essais de fonctionnement et d'endurance ont été effectués sur cinq appareils de type différents. L'essai de durée comportait deux cycles par minute, comprenant chacun une fermeture du circuit des lampes pendant 1,5 s, suivie d'une ouverture de 28,5 s de façon à donner aux lampes le temps de se refroidir entre deux fonctionnements successifs du relais. Celui-ci se trouvait ainsi fonctionner dans des conditions aussi voisines que possible de celles rencontrées en pratique. Au point de vue des contacts, ce qui est la question importante, les caractéristiques des cinq relais soumis aux essais étaient les suivantes : Le relais I avait des contacts en cuivre maintenus fermés par des ressorts lorsque le relais n'est pas excité ; le relais II comportait des contacts auxiliaires en charbon, la pression étant assurée par des ressorts; le relais III était muni de contacts en alliage d'argent; de même les contacts du relais IV étaient en alliage. Quant au relais V, il comportait un jeu de contacts auxiliaires de cuivre et de charbon pour fermer le circuitet des contacts principaux en argent, assurant aussi l'ouverture du circuit ; d'autre part, seule la pesanteur agit dans ce relais pour assurer la fermeture des contacts. En outre, ce relais comporte deux bobines d'excitation dont l'ordre respectif de fonctionnement assûre la fermeture ou l'ouverture des contacts auxiliaires et des contacts principaux suivant la séquence voulue. Les résultats des essais effectués sur ces différents relais et résumés dans un tableau montrent que tous les relais munis de contacts auxiliaires en charbon étaient en meilleur état après 25 cycles de fonctionnement que ceux dépourvus de ces contacts. L'essai de durée ne fut effectué que sur les trois relais semblant répondre le mieux aux conditions imposées. Le relais II était en assez bon état après 3 000 cycles d'opération, n'ayant jamais eu un raté de fonctionnement ; le relais III nécessita à plusieurs reprises au cours de cet essai l'intervention de l'opérateur pour séparer les contacts soudés ensemble. Le relais V émerge nettement du lot n'ayant eu aucun raté au cours de 3 000 cycles d'opération et ses contacts ne présentant après cet essai que des piqûres très légères. En comme ces essais ont mis en évidence la supériorité marquée des relais munis de contacts auxiliaires en charbon, et de l'utilisation de l'action de la pesanteur au lieu de ressorts pour assurer la fermeture des contacts.

Lorsqu'on installe ces relais il faut, bien entendu, les placer dans des coffrets étanches à l'abri de la poussière et de l'humidité. Il faut aussi éviter l'action de courants continus vagabonds, venant de lignes de tramways, par exemple et qui, empruntant le fil pilote, peuvent maintenir les relais de commande attirés alors que leur circuit est ouvert. On y remédie en branchant quelques condensateurs en série dans le fil pilote. Enfin dans le cas de réseaux aériens, il est bon de prévoir un parafoudre avec chaque relais répétiteur. — J. S.

Les véhicules électriques à accumulateurs ; les camions de la Société des Véhicules électriques industriels (1).

1. Introduction. — Etant donné les avantages considérables que présentent les véhicules électriques, non seulement en ce qui concerne directement leur utilisation, mais aussi au point de vue de la consommation des carburants, ce qui est pour la France une très importante question écono-

(1) R.-W Gillette. *Electrical World*, 31 août 1929, t. xciv, p. 419-426, 3 500 mots, 20 figures, 2 tableaux.

(1) G. Delange. *Le Génie civil*, 28 septembre 1929, t. xcv, p. 289-294, 6 600 mots, 7 figures.

mique, on peut être étonné que leur développement soit encore, à notre époque, si limité. Il ne faut pas oublier que ces véhicules ont connu en France même une certaine vogue et que ce sont les défauts des batteries d'accumulateurs, alors employées, qui rendirent impossible la lutte contre les véhicules à essence.

L'auteur rappelle l'historique de la question et expose rapidement la situation actuelle du développement des automobiles électriques dans les différents pays. Il indique ensuite les divers avantages du véhicule électrique : simplicité de construction, facilité de manœuvre, économie de main-d'œuvre et d'énergie, sûreté de fonctionnement; puis il passe en revue les différentes applications des véhicules électriques qui sont actuellement construits. Nous ne reviendrons pas sur ces différents sujets qui ont, à plusieurs reprises été exposés dans ces colonnes (1).

2. Les camions électriques Sovel. — Ces véhicules sont analogues à ceux qui ont déjà fait leurs preuves aux Etats-Unis et en Angleterre. Ils comportent deux moteurs attaquant séparément les roues arrière par chaines et deux demi-batteries placées de chaque côté du véhicule en dehors du châssis. Un dispositif de levage, par vis et manivelle, permet de faire avec facilité toutes les manœuvres nécessitées par l'entretien des éléments.

Pour un service intensif, il est possible de procéder à l'enlèvement complet et au remplacement de la batterie; mais il est rare que le véhicule ait ainsi besoin de fonctionner nuit et jour et, le plus souvent, une charge complète et une ou deux charges partielles dans le courant de la journée suffisent pour un service normal.

La commande s'effectue par combinateurs à tambour fonctionnant par levier et permet d'obtenir cinq régimes de marche différents. Le changement de sens de marche est obtenu par un inverseur. Il n'y a, sur ces camions, ni embrayage, ni changement de vitesse.

Les moteurs sont du type série. Ils sont entièrement fermés, mais des portes de visite permettent d'accéder aux balais et aux collecteurs. Les canalisations électriques sont entièrement protégées par des tubes et les jonctions sont exécutées dans des boîtes entièrement étanches.

Il existe deux types de camions Sovel; l'un de 3,5 t de charge utile, l'autre de 5 t. Le premier a une longueur totale légèrement supérieure à 5 m et une largeur totale voisine de 2 m. Le poids du châssis est de 2,65 t; celui de la batterie, de 1,25 à 1,55 t. La puissance de chacun des moteurs est de 3,5 kw en service continu.

3. Mode d'établissement du budget d'un camion électrique. — Dans le calcul du prix de revient des transports par camion électrique interviennent trois sortes de dépenses : les frais fixes, les frais d'amortissement et les frais proportionnels aux parcours effectués.

1° *Frais fixes.* — Ils comprennent l'intérêt du capital engagé, les impôts, les assurances, l'amortissement de la batterie, le salaire du conducteur et les frais de garage.

Deux types de batteries sont utilisés sur les camions considérés. L'une, la batterie au plomb Tudor-ironclad, est garantie pour trois ans et dure en moyenne de 40 à 42 mois. L'autre, la batterie Saft à éléments aux fer et nickel, est garantie pour 4 ou 6 ans et dure pratiquement plus longtemps. Ces batteries sont reprises à la fin de leur utilisation pour une certaine fraction (12 ou 20 pour 100) du prix de leur remplacement.

2° *Frais d'amortissement du châssis et de la carrosserie.* — Aux Etats-Unis, la pratique courante est d'amortir les véhicules à essence sur une durée de 3 à 6 ans et les véhicules électriques, affectés au même travail, sur une durée de 12 à 15 ans. Cette dernière, qui peut paraître excessive, est cependant sanctionnée par une longue expérience; elle résulte de la grande simplicité du mécanisme du véhicule électrique et de la robustesse de son moteur.

3° *Frais proportionnels au parcours.* — La consommation de courant varie avec la nature de la route, le profil en long du parcours, la charge du véhicule, le nombre de démarrages, le rendement du poste de charge, etc. Il est prudent de tabler, au début, sur une consommation de 1 kw-h par kilomètre parcouru. Après un certain temps de fonctionnement, on peut préciser cette consommation qui est, le plus souvent, inférieure à cette valeur. Il est de bonne pratique d'incorporer au prix du kilowatt-heure une somme variant entre 0,05 et 0,10 fr pour l'amortissement du poste de charge.

Les camions Sovel sont montés sur bandages pleins, dont la durée, à service égal, est de 35 à 50 pour 100 plus grande que celle des pneumatiques des véhicules à essence, par suite de la suppression absolue des à-coups et de la limitation de la vitesse à 20 km : h en palier.

4. Résultats obtenus en exploitation. — *a*) Camion de 3,5 t pour livraison de charbon. — Le nombre de tonnes-kilomètres parcourus quotidiennement par ce camion est 4 fois plus élevé que celui qui était réalisable avec les attelages à chevaux antérieurement en service. L'auteur ne donne aucun renseignement sur la consommation en énergie électrique.

b) Camion de 3,5 t pour livraison de farine. — Le trajet journalier s'élève à 70,5 km et le poids total des marchandises livrées à 22 t; la vitesse moyenne du véhicule de 14 km : h. Ce camion remplace un véhicule à essence qui parcourait un trajet de 15 pour 100 plus long, mais entrainait une dépense de 35 pour 100 supérieure.

c) Camions pour l'enlèvement des ordures ménagères. — Des essais comparatifs ont eu lieu entre des camions à essence et des voitures électriques, à Strasbourg et au Havre sous le contrôle des services techniques de ces deux villes. Nous donnons ci-après les résultats obtenus au Havre qui diffèrent peu de ceux obtenus à Strasbourg :

Consommation.	Camion électrique.	Camion à essence.
Pendant le parcours à vide	4,4 a-h	43 l par 100 km
Id. de collecte...	6,5	500
Id. en demi-charge.....	5,1	54
Augmentation entre un parcours de collecte et la marche sans arrêt	1,25	9,25

On sait que les camions à essence qui assurent le service de la voirie sont soumis à une usure assez rapide, principalement à cause de la fréquence des arrêts et des démarrages. Les véhicules électriques n'offrent pas cet inconvénient. — B. E.

(1) L. Krieger: La traction sur route par accumulateurs. *Revue générale de l'Electricité*, 9 juillet 1927, t. XXII, p. 69-74.
F. Piot; Essais contrôlés de véhicules électriques à accumulateurs (5 juin-20 juin 1926). *Revue générale de l'Electricité*, 3 septembre 1927, t. XXII, p. 355-365.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Le développement de l'orientation professionnelle

Au moment où l'on fait en France de grands efforts pour développer et fixer l'orientation professionnelle, l'auteur de cet article a voulu montrer quelques-unes des caractéristiques de ce mouvement, d'abord en France et ensuite à l'étranger, notamment aux Etats-Unis, en Autriche et en Allemagne.

I. **La situation en France**. — Il y a quelques années, on pouvait encore discuter en France, car nous étions très en retard, de la nécessité de l'apprentissage. Aujourd'hui, la situation est différente, car théoriquement, la question est résolue d'une façon définitive, surtout après le vote de la loi du 20 mars 1928; pratiquement, les progrès se font sentir chaque jour. Les comités de patronage des apprentis de la Seine, les ateliers-écoles de la Chambre de Commerce de Paris, les services de l'Action sociale de Seine-et-Oise, les organismes de Lyon, de Nancy, de Bordeaux, d'Angers, de Metz, de Nantes, pour ne citer que les principaux, les cours de tant de chambres syndicales, le développement de l'enseignement manuel et ménager, enfin l'application de la taxe d'apprentissage, qui permet de contrôler plus de 200000 jeunes gens, se complètent et se renforcent (1).

Si, après vingt ans d'efforts, on est d'accord sur les moyens à employer vis-à-vis de l'apprentissage, on se trouve encore dans une période de recherches et d'incertitude vis-à-vis de l'orientation proprement dite.

Cette situation provient d'une erreur initiale qui, entre 1910 et 1914, nous a fait, si j'ose ainsi parler, mettre la charrue avant les bœufs, elle provient aussi, et cela nous excuse, de ce que l'orientation professionnelle est une application récente de sciences elles-mêmes neuves.

Avant la guerre, nous avions eu, avec Mme Blanche Schweig, « l'Association d'études pour l'Orientation professionnelle »; nous avons maintenant : les beaux travaux du Dr Simon, travaux qui ont prouvé leur justesse dans la paix comme dans la guerre; la juxtaposition d'offices d'orientation aux comités de patronage; la création à Paris de l'Institut national d'Orientation professionnelle, qui est destiné à assurer la formation technique des conseillers d'orientation; l'enseignement de la chaire de la Physiologie du Travail au Conservatoire national des Arts et Métiers.

C'est dans cette chaire que son titulaire, M. Laugier traçait, en 1929, tout un programme en disant : « Cette science de l'orientation professionnelle a ceci de particulier, qu'on ne peut la créer de toutes pièces au laboratoire, pour la transporter ensuite, parfaitement constituée et sûre d'elle-même, dans le domaine de la pratique quotidienne. Elle ne peut progresser que par son application même. C'est dire que, dès que des techniques de mesure de physiologie ou de psychologie ont été établies par les laboratoires, il importe de les insérer immédiatement, avec prudence, dans la technique d'orientation, afin d'expérimenter leur valeur et de déterminer de quel poids elles doivent peser au milieu des nombreux éléments qui doivent fixer le choix d'une profession ».

II. **La situation à l'étranger**. — 1. Généralités. — Mais, dans un pareil domaine, lorsque l'on sait que des nations comme les Etats-Unis, l'Autriche, la Belgique, se sont beaucoup occupées de ces questions, le désir vient de connaître les idées et les recherches de l'étranger. Et c'est pourquoi nous voudrions dire ici quelques mots de ce qui se passe au dehors.

Pendant assez longtemps, on a eu peu de renseignements sur les pays étrangers. Le livre de Fernand Dubief, « l'Apprentissage et l'Enseignement technique », qui date de 1910, donnait des renseignements trop succincts; son mérite a été, en éveillant la curiosité, de donner le désir de les compléter.

A la veille de la guerre, le remarquable ouvrage de Chambonnaud, l' « Education industrielle et commerciale en Angleterre et en Ecosse », fut pour beaucoup une véritable révélation, mais il ne traitait le sujet que dans ses généralités. Aujourd'hui, pour nous documenter, avec les deux volumes sur le Congrès international de Charleroi, voici « l'Orientation professionnelle » de M. Jean Perret, directeur de l'Office de Lyon, voici les Bulletins de la Société Alfred Binet, les Bulletins de l'Institut national d'Orientation, les Rapports techniques du Conseil municipal et de la Chambre de Commerce de Paris sur Vienne et sur Prague, enfin, pour ceux que le côté scientifique du problème n'effraie pas, les comptes rendus de la quatrième Conférence internationale de Psychotechnique.

2. La situation aux Etats-Unis. — Quelque temps avant la guerre, le directeur d'une des maisons les

(1) Pour se rendre compte du développement de l'apprentissage et de l'enseignement technique dans le monde, nous renvoyons à un article intitulé « Au cœur de l'Anatolie », paru dans la *Revue des Deux Mondes* du 15 juillet 1929.

plus importantes de Philadelphie, la maison Baldwin, constructeur de locomotives, disait : « Nous avons un grand souci de recruter un personnel instruit. Plus nos ouvriers seront instruits, plus nous aurons de chances de l'emporter dans les compétitions avec les industriels étrangers et plus il nous sera facile d'étendre notre marché dans le monde ». Mais, en France, c'est surtout depuis la mission Ferdinand Buisson aux Etats-Unis, en 1918, que l'on s'est intéressé sérieusement à l'activité d'Outre-Atlantique.

Là-bas, depuis trente ans (1) les efforts ont été réunis et groupés par une Association générale qui a adopté, en 1924, des principes communs généraux. L'orientation doit pourvoir à l'éducation professionnelle des jeunes, leur donner la connaissance d'eux-mêmes, elle doit leur fournir des conseillers qui les suivront régulièrement. A Harvard, le directeur du bureau des vocations voit dans l'éducation la base même de l'orientation, et, selon lui, l'élève doit passer par six stades : 1° découverte de ses aptitudes ; 2° étude des métiers ; 3° choix de la profession ; 4° préparation à la profession ; 5° entrée dans la vie professionnelle ; 6° adaptation et avancement dans la branche choisie.

Pour permettre au sujet d'arriver à la découverte de ses facultés et de ses intérêts, on multiplie les expériences. Les écoles doivent créer des cours d'investigation portant sur le travail du bois et du métal, l'imprimerie, l'électricité, la mécanique, le commerce, les travaux ménagers. Cette disposition heureuse et pratique, que réalisent en partie les ateliers-écoles de la Chambre de Commerce de Paris, si elle existe à Harvard, existe aussi à l'Ecole technique de Providence, véritable maison d'orientation où les classes sont mobiles, où chaque semestre l'élève a un nouveau programme. On la retrouve encore à Pittsburg où dans une grande école, l'atelier général comprend : ébénisterie, bois, fer, électricité, imprimerie, et où les jeunes gens sont surveillés, bien plus que guidés. On la constate enfin dans d'autres villes où, à côté des matières que nous signalons, figurent soit une salle de dessin, soit un atelier de reliure, soit un garage d'automobiles.

Ajoutons que New-York, avec ses « orienteurs » qui peuvent pénétrer dans les écoles et interroger les jeunes gens, que Chicago où des cours ont été créés afin, selon la parole officielle, « d'imprimer un caractère propre à la technique de l'orientation et du placement, » que Boston, qui a un département scolaire d'orientation professionnelle, serrent le problème de très près.

Nous ne voudrions pas quitter les Etats-Unis sans signaler les idées qui ont cours à Oakland. Pour les éducateurs de là-bas, on perd son temps en s'arrêtant aux défectuosités, le devoir est de rechercher et de faire saillir toutes les qualités de force physique ou intellectuelle. Il y a là une grande part de vérité : depuis le certificat de l'enseignement primaire jusqu'au baccalauréat, que de fois en France on a arrêté sans aucun profit des jeunes gens bien doués que leur répugnance pour telle ou telle matière rendait trop faibles sur un point.

3. La situation en Autriche. — Au sortir de l'étude d'un pays neuf, il pourrait paraître surprenant de tourner ses regards vers une vieille nation, si l'on ne savait pas que l'Autriche — réalisatrice dès le milieu du XVIIIe siècle — a précédé les pays d'Europe dans l'organisation de l'enseignement professionnel. Et aujourd'hui encore son enseignement obligatoire des apprentis de moins de dix-huit ans et ses écoles de perfectionnement peuvent passer pour des modèles.

L'Office central d'orientation professionnelle de Vienne, qui date de 1922, est en même temps office de placement. Son budget était de 350 000 fr en 1928 et de 520 000 fr en 1929. L'avis de l'Office est nécessaire pour l'entrée dans quelques professions, comme la boulangerie ; son examen médical est réclamé par presque toutes les corporations. L'examen psychotechnique a rencontré au début une certaine opposition, actuellement environ 20 pour 100 des apprentis le passent ; ce sont principalement ceux qui exercent des métiers spéciaux ou des métiers d'art, ceux qui sont indécis, ceux qui sont en désaccord avec leurs parents ou avec leurs maîtres.

Dans la région parisienne où il nous a été donné de lutter pour l'orientation et l'apprentissage, nous appuyant sur ce que l'expérience enseignait, nous n'avons cessé de demander un développement plus grand de la propagande pour convaincre les patrons, les parents, les maîtres et les enfants, et pour faire connaître des œuvres dont, au milieu du tumulte de la ville, on ne se doutait pas. Aussi est-ce avec un véritable plaisir que nous avons vu que dans une cité comme Vienne, beaucoup plus familiarisée avec ces questions, on jugeait la propagande nécessaire. Une circulaire émanant de l'Office du Placement et de la Chambre du Travail convie les patrons en termes judicieux et pressants afin d'épargner « temps, argent, erreurs, ennuis » à s'adresser à l'Office d'orientation pour les besoins de personnel.

4. La situation en Allemagne. — On se souvient qu'au lendemain de 1870 le futur empereur Frédéric disait : « Nous avons vaincu sur les champs de bataille de la guerre, nous vaincrons maintenant sur les champs de bataille du commerce et de l'industrie » ; et on sait à quel point l'enseignement technique était florissant en Allemagne avant la guerre. C'est en grande partie cet enseignement qui a permis cinq ans de résistance. Après la guerre, le mouvement ne s'est pas arrêté, loin de là, témoin le développement des académies de commerce. En 1922, en Suisse, la « Gazette des Métiers » écrivait : « Autrefois, dans cette Allemagne, imbue des préjugés de caste, les enfants d'employés supérieurs ou de parents exerçant des professions libérales, étaient tenus de suivre des cours universitaires s'ils voulaient

(1) *Bulletin de la Société Alfred Binet.* Psychologie de l'enfant et pédagogie expérimentale, octobre 1928.

être considérés eux-mêmes et faire honneur à leurs familles..... Mais aujourd'hui, nous pouvons constater le fait qu'en Allemagne, les fils des classes dites supérieures, même s'ils sont doués des capacités intellectuelles nécessaires, se portent en grand nombre vers les professions artisanes et qu'ils s'en trouvent très bien ». Dans un milieu ainsi préparé où l'on s'imprégnait du livre de Munsterberg : « La Psychologie et la Vie économique », les théories et les pratiques d'orientation professionnelle devaient croître rapidement. Dès 1919, en Prusse, les cercles sont obligés de créer des offices et les villes de plus de 10 000 habitants doivent avoir un office spécial juxtaposé au bureau de placement si celui-ci existe déjà. On a cité comme particulièrement remarquables les établissements de Berlin et de Dusseldorf; après les dernières enquêtes françaises, qui sont de 1928, nous croyons que l'on peut insister aussi sur Munich. L'office de Munich, nous dit M. Fontègne, conseille 80 pour 100 de la population scolaire, collabore journellement avec l'école, multiplie les causeries, contrôle l'entrée dans la plupart des professions et suit l'état du marché du travail. Enfin, ce qui est capital, depuis que les services de Munich fonctionnent régulièrement, on nous assure que les changements de profession ont diminué de 75 pour 100; les accidents de 45 pour 100 ; le temps nécessaire à l'accomplissement du travail de 19 pour 100.

5. La situation en Belgique. — Nous ne saurions terminer ce rapide aperçu sans mentionner les efforts nombreux et divers de la Belgique pour préparer les jeunes gens et les jeunes filles. Grâce à la même langue, au voisinage étroit, aux missions, à la profonde amitié c'est sans doute sur l'orientation belge que nous sommes le plus abondamment renseignés. Bien des tendances européennes, qui poussent aujourd'hui à ériger l'orientation en un corps de doctrine rigide faisant remarquer les qualités physiques, l'intelligence, le caractère, et décelant les tares, ont pris naissance en Belgique. Si les idées et les procédés de M. Christiaens, qui a beaucoup travaillé à l'Office intercommunal de Bruxelles, sont répandus par d'autres, il est de stricte justice de rappeler que c'est lui qui en est l'auteur. D'autres seraient à citer à côté de M. Christiaens, tel le Dr Houdmont, directeur du Laboratoire pyschotechnique de Bruxelles, qui a fait de belles recherches sur le facteur fatigue dans les métiers. D'autres, enfin, ont signalé la difficulté qu'il y a à orienter des jeunes gens qui, quelques années plus tard, exerceront un métier souvent avec des qualités physiques et intellectuelles autres que celles qu'ils présentent à 14 ans. Mais cette objection fondée n'a pas arrêté un mouvement qui se généralise de plus en plus.

III. **Conclusions.** — En concluant, disons : En France, on a tendance à s'arrêter trop complaisamment sur certaines méthodes étrangères, naguère jugées trop compliquées. Ce qu'il nous faut d'abord c'est, le certificat obtenu, un préapprentissage *qui ne dure pas plus d'un an*, partout suivie d'une orientation unifiée dans ses grandes lignes, assez simple pour convaincre sans effrayer. Ce qu'il nous faut ensuite, car là aussi il se crée des mécontents et des dévoyés, c'est l'application de l'orientation à l'enseignement secondaire : orientation, d'une part, à la base, pour savoir si l'on doit suivre ou non cet enseignement ; d'autre part, au sommet, pour se déterminer sur le choix d'une carrière.

Ces vues immédiates et pratiques, ces vues nécessaires, n'empêchent pas de constater qu'une haute idée d'ensemble se dégage des travaux accomplis en psychotechnique par les savants des diverses nations. Peut-être que ces recherches, qui tendent à mettre chaque homme à sa place naturelle dans la société, contribueront elles aussi, dans une certaine mesure, à la pacification du monde contemporain.

G.-E. Bertin,
Maire-adjoint du 10e arrondissement de la Ville de Paris.

Assemblées générales

Electricité et Gaz du Nord.

Assemblée générale ordinaire du 5 décembre 1929.

Des rapports présentés à cette assemblée sur l'exercice 1928-1929 de cette société, au capital de 100 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent.

Les ventes d'énergie électrique à haute tension ont augmenté de plus de 7 pour 100 et celles d'énergie à basse tension, de 35 pour 100 ; l'augmentation de la consommation d'énergie à basse tension est en rapport avec le nombre de communes alimentées, qui est passé de 82 au 30 [septembre 1928 à 100 au cours de l'exercice. Pour le gaz, l'augmentation des ventes est d'environ 9 pour 100.

Les commandes faites pendant l'exercice, tant pour le développement des usines que pour le renouvellement des installations sont : un turboalternateur de 12 000 — 15 000 kw destiné à l'usine de Maubeuge ; un turboalternateur de même puissance et deux chaudières destinés à l'usine d'Aulnoye ; un turboalternateur, également de 12 000 — 15 000 kw, pour l'usine de Lomme.

Les réseaux de distribution souterrains et aériens ont été développés d'une façon constante. En 1928-1929, le réseau à haute tension s'est accru de près de 100 km et le réseau à basse tension de plus de 290 km.

Les moyens de production, malgré les accroissements de

puissance apportés par les nouveaux groupes, lorsqu'ils seront mis en service, ne permettront pas de faire face aux demandes de fournitures qui sont envisagées et le conseil étudie actuellement de nouvelles installations dans le but d'assurer la marche et le développement normaux de l'entreprise.

Dans l'ordre social, le conseil signale qu'il a établi un projet de statut élaboré en parfait accord avec le personnel ouvrier et employé et qu'il n'attend que l'approbation du contrôle pour le mettre en vigueur. En outre, constamment préoccupé d'améliorer la situation du personnel, il a ouvert les crédits nécessaires à la construction ou à l'acquisition de nouvelles maisons pour les ouvriers et employés.

Le rapport du conseil d'administration donne ensuite quelques indications sur l'activité des sociétés dans lesquelles Electricité et Gaz du Nord est intéressée : Société d'Electricité de la Région de Valenciennes-Anzin (1) ; Société nantaise d'Eclairage et de Force par l'Electricité (2), Electricité de la Seine (3). Il rappelle que l'an dernier il a fait part à l'assemblée que la société a participé à la constitution de la Société de Transport et de Distribution d'Energie électrique « Lorraine-Hainaut » avec laquelle elle a passé un contrat de fourniture de courant dans le but de renforcer nos moyens d'action et qui, conformément au plan qu'elle s'était tracé, la société a formulé une demande de concession d'une ligne de transmission d'énergie en haute tension, de Mohon à Fourmies, demande qui est actuellement soumise aux formalités d'enquête.

Le conseil d'administration rappelle aussi la participation prise à la constitution de deux sociétés nouvelles, d'une part, la Compagnie parisienne de Chauffage urbain, qui a la concession de la distribution de la vapeur destinée au chauffrge urbain dans Paris et, d'autre part, la Société Chaleur-Energie, chargée de la production de la vapeur pour alimenter les réseaux de distribution du chauffage urbain. Au cours du dernier exercice a été prise une participation dans la Compagnie de Distribution de Chaleur qui a plus spécialement pour objet l'utilisation et l'exploitation des installations de chauffage et qui complète heureusement les deux précédentes sociétés.

La Compagnie parisienne de Chauffage urbain, depuis sa constitution, a poursuivi l'étude de réseaux de distribution de vapeur dans certains quartiers de Paris et la Société Chaleur-Energie a étudié les moyens d'alimenter de vapeur ces réseaux. Ces deux sociétés ont même déjà pu commencer à réaliser un réseau de démonstration. Les travaux effectués depuis un an ont confirmé, au delà même de ce qu'on aurait pu croire, la connexité déjà signalée, l'année dernière, entre les industries de production et de distribution d'électricité et de celles de distribution de chaleur et par suite l'intérêt qu'a la société à participer dans leur capital.

De son côté, la Compagnie de Distribution de Chaleur s'organise pour développer ses possibilités de constructions pour le chauffage par îlots en préparant l'alimentation éventuelle par la Compagnie parisienne de Chauffage urbain.

La Société Carbonisation et Charbons actifs dans laquelle la société a également une participation fait actuellement construire une usine pour la fabrication des charbons actifs et qui entrera en exploitation dans le courant de l'année 1930.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 36 468 695,41 fr, comprenant : le report du solde au 30 septembre 1928, soit 14 669,06 fr, et les bénéfices des usines, les produits du portefeuille, les intérêts et divers, formant un total de 36 454 026,35 fr.

Le débit comprend : les frais d'administration et la taxe d'abonnement au timbre des titres de la société, 953 millions 988,93 fr ; la charge d'emprunt des bons à 8 pour 100, 3 300 379,75 fr ; le versement au fonds d'amortissement, 5 000 000 fr ; le versement au fonds de renouvellement du matériel, 3 000 000 fr ; le versement à la réserve pour éventualités, 4 000 000 fr. Au total, 16 254 368,68 fr.

Le solde disponible est donc de 20 214 326,73 fr contre 16 995 942,64 fr l'an dernier (1). Il est réparti comme il suit : 5 pour 100 à la réserve légale, sur 20 199 657,67 fr, 1 million 009 982,88 fr ; dividende de 4 pour 100, soit 10 fr aux actions, 4 000 000 fr ; attribution au conseil d'administration, 916 705,92 fr ; deuxième dividende de 25 fr aux actions, 10 000 000 fr ; dividende de 428,571 fr aux parts, 4 millions 285 714 fr ; solde à nouveau à reporter 1 923,93 fr.

En conséquence, le dividende total est de 35 fr pour les actions et de 428,571 fr pour les parts, mis en paiement depuis le 6 décembre 1929, sous déduction des impôts.

BILAN AU 30 SEPTEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Usines, réseaux et concessions	147 861 025,53
Mobilier du siège social	1 »
Caisses, banques et débiteurs divers	54 148 186,97
Portefeuille, titres	48 914 486,49
Magasins (approvisionnements et sous-produits)	9 291 569,01
Compte d'ordre :	
Titres à libérer	11 054 487,50
Etat français. Annuités à recevoir	10 847 191 »
	282 116 947,50

Passif.

	fr
Capital :	
400 000 actions de 250 fr	100 000 000 »
10 000 parts bénéficiaires	pour mémoire.
Bons à 8 pour 100 : 43 814 de 500 fr	21 907 000 »
Réserve légale	4 514 781,50
Fonds d'amortissement	42 443 000 »
Fonds de renouvellement du matériel	21 641 406,67
Réserve pour éventualités	14 000 000 »
Créditeurs divers	34 402 047,33
Coupons restant à payer	440 206,77
Bons à 8 pour 100 à rembourser	652 500 »
Compte d'ordre (versements restant à effectuer sur titres et annuités restant à recevoir de l'Etat et déléguées)	21 901 678,50
Profits et pertes. Solde	20 214 326,73
	282 116 947,50

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1032.
(2) *Idem*, 17 août 1929, t. XXVI, p. 264.
(3) *Idem*, 21 décembre 1929, t. XXVI, p. 1014.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 23 mars 1929, t. XXV, p. 465.

SECTION DE LÉGISLATION

Sur les irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire

(Arrêt du Conseil d'État du 5 juillet 1929)

Le Conseil d'Etat a rendu à la date du 5 juillet 1929, un arrêt intéressant par le nombre et l'importance des principes qu'il met en lumière relativement aux irrégularités d'un avenant passé entre une commune et une compagnie concessionnaire. Il prononce la nullité de cet avenant mais réserve la responsabilité éventuelle de la commune à l'égard de son concessionnaire.

I. **Demande de la Ville**. — Voici tout d'abord les faits : la Ville de Béziers à la suite d'une demande d'indemnité pour charge extracontractuelle qui lui était adressée par la Compagnie d'Electricité de Béziers, concessionnaire de la distribution communale, décida, avec cette dernière, de s'en rapporter à la décision d'experts désignés d'un commun accord.

Un projet d'avenant fut établi lequel stipulait notamment une prolongation de la durée de la concession et également le paiement d'une indemnité dont l'importance nécessitait un amortissement de plus de trente ans.

Cet avenant une fois signé et approuvé par l'autorité préfectorale, la Ville de Béziers, effrayée des charges qui en résultaient pour elle, attaqua celui-ci devant le Conseil de Préfecture interdépartemental de l'Hérault en excipant de sa nullité.

Le Conseil rejeta cette requête estimant que les griefs présentés étaient dénués de fondement.

Mais le Conseil d'Etat saisi à son tour par la Ville d'un pourvoi contre cette décision a, tout au contraire, admis les moyens proposés, cassé l'arrêté du Conseil de préfecture et condamné la Compagnie d'Electricité de Béziers aux dépens de l'instance.

II. **Motifs invoqués par la Ville et solutions acceptées**. — Les argumeuts invoqués à l'appui de la requête de la Ville étaient les suivants :

1° L'expertise à laquelle il avait été procédé à seule fin de terminer par un accord le litige pendant entre plaideurs, constituait *un compromis sur procès*. Or, la commune ne pouvait légalement transiger ni compromettre.

Le Conseil d'Etat déclare que c'est à tort que la Ville considère comme un compromis, comme un arbitrage un travail d'experts, qui, dans les conditions où il était intervenu, n'était en réalité qu'un rapport préliminaire à l'avenant conclu par la suite de gré à gré. La critique n'était donc pas fondée.

Ce point de la décision est intéressant cependant à retenir car il rappelle implicitement que l'avenant eût été nul s'il avait été le résultat d'un véritable arbitrage c'est-à-dire d'un accord par lequel des plaideurs engagés dans un litige auraient décidé de confier à des arbitres le soin de les départager et de trancher en dernier ressort et par une véritable sentence les causes et le résultat de leur conflit.

2° La Ville indiquait en second lieu, que l'avenant venant se greffer sur une concession antérieure avait prorogé la durée de celle-ci au delà de la limite autorisée par la loi du 25 juin 1906 et le cahier des charges du 17 mai 1908. *Cette dérogation au cahier des charges* ne pouvait intervenir sans une approbation par décret rendu en Conseil d'Etat (article 7, loi du 15 juin 1906).

Le Conseil d'Etat sanctionne de son approbation le rappel de ses principes, invoqués à bon droit par la Ville (1).

3° La Ville soutenait que l'emprunt destiné à payer les indemnités stipulées au profit du concessionnaire, emprunt dont le montant et les modalités avaient été arrêtés dans l'avenant, dépassait l'*importance des emprunts* qu'une ville pouvait consentir avec la seule autorisation préfectorale, et ce, en application de la loi municipale de 1884. Le montant de l'indemnité était de 5 millions de francs ; la durée d'amortissement pour libérer cet emprunt était de plus de 30 ans.

Le Conseil d'Etat a consacré également le bien fondé de cette critique.

III. **Premières conclusions du Conseil d'Etat**. — En forme de conclusion, le Conseil d'Etat déclare donc la Ville déliée à l'égard de la Compagnie d'Electricité de Béziers des engagements résultant de l'avenant et la décharge, en conséquence, des condamnations prononcées contre elle par le Conseil de Préfecture.

Mais le Conseil d'Etat réserve à la Compagnie d'Elec-

(1) Voir en ce sens : Conseil de Préfecture de la Haute-Garonne du 3 avril 1928 (Ville de Rabastens contre Gaz et Electricité de Gaillac ; Conseil d'Etat, 9 avril 1928 (Ville de Saint-Girons contre Mounet).

tricité de Béziers le droit de poursuivre la Ville si celle-ci ne régularisait point par l'autorité de tutelle — traduisez, par approbation régulière du Conseil d'Etat — l'avenant intervenu et sur la foi duquel la Compagnie d'Electricité de Béziers s'était désisté de sa demande en indemnité pour charge extracontractuelle.

C'est ici le rappel d'un autre principe : l'obligation d'une commune de soumettre elle-même le traité de concession *aux approbations régulières sous peine de dommages* vis-à-vis du concessionnaire appelé à subir les conséquences de cette négligence (Arrêté du Conseil de Préfecture de la Haute-Garonne, Ville de Mancious contre Loze, 13 novembre 1928).

Les principes du droit administratif sont donc respectés dans toute leur rigueur au profit de la ville, mais l'équité trouve aussi sa place au profit de la société concessionnaire dans la décision rendue par la juridiction suprême.

A titre documentaire, nous donnons le texte de cette décision.

IV. **Texte de l'arrêt du 5 juillet 1929.** — Le Conseil d'Etat :

Vu la loi du 28 Pluviose, an VIII, l'article 64 du Code de Procédure civile, la loi du 5 avril 1884, article 143, modifié par les lois des 7 avril 1902 et 15 novembre 1922 ; la loi du 15 juin 1906; le décret du 28 juin 1921 ;

Considérant que la mission donnée aux experts *ne les constituait pas des arbitres* dans le litige existant entre la Ville de Béziers et la Compagnie d'Electricité de Béziers; que, par suite, la Ville de Béziers n'est pas fondée à se plaindre de ce que les formalités prévues par l'article 69 de la loi du 27 avril 1906 n'ont pas été observées ;

Considérant qu'en vertu de l'avenant passé le 7 juillet 1923 entre la Ville de Béziers et la Compagnie d'Electricité de Béziers, le montant des charges extracontractuelles a été fixé à 5 millions de francs; qu'il a été spécifié que la Compagnie émettrait pour se procurer cette somme, un emprunt dont la Ville garantissait les intérêts et l'amortissement en cas d'insuffisance des majorations de tarifs prévus audit avenant; que la durée de l'amortissement de cet emprunt était de quarante ans, l'expiration de la durée de la concession étant reportée au 1er mars 1962;

Considérant que cet avenant comportait *des dérogations au cahier des charges-type*, lesquelles nécessitaient, en vertu de l'article 7 de la loi du 15 juin 1906, une approbation par décret en Conseil d'Etat; que, d'autre part, l'engagement de la Ville de Béziers qui mettait éventuellement à sa charge les intérêts et l'amortissement d'un emprunt de plus de 3 millions dont la durée d'amortissement, en outre, excédait trente années, *aurait dû être autorisé* dans les formes prévues à l'article 143 de la loi du 5 avril 1884, *par décret en Conseil d'Etat ;*

Considérant qu'aucune autorisation par décret en Conseil d'Etat n'étant intervenue, la Ville de Béziers pouvait se refuser, en l'état à exécuter ladite convention ; qu'elle est, par suite, fondée à demander l'annulation de l'arrêté par lequel le Conseil de Préfecture l'a condamnée à verser les sommes nécessaires pour assurer le service dudit emprunt;

Considérant que la présente décision ne fait pas obstacle à ce que, le cas échéant, la Compagnie d'Electricité de Béziers fasse valoir *tous droits à indemnité* tant à raison de la faute que commettrait la Ville de Béziers en ne prescrivant par l'approbation de l'autorité de tutelle, que des conditions dans lesquelles elle s'est désistée de son action en indemnité pour charges extra-contractuelles ;

Article premier. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture de l'Hérault, en date du 8 juillet 1925 est annulé;

Article 2. — La Ville de Béziers est déchargée des condamnations prononcées;

Article 3. — Les dépens de première instance et d'appel sont mises à la charge de la Compagnie d'Electricité de Béziers.

A. Remaury,
Avocat à la Cour d'Appel de Toulouse,
Professeur à l'Institut électrotechnique de l'Université de Toulouse.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur l'application de la législation sur les assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 10 septembre 1929 publie, pages 2931 et 2932 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent :

4966. — M. Joseph Denais demande à M. le ministre du Travail quels seront les droits d'un assuré obligatoire de la loi des retraites ouvrières, qui a régulièrement versé ses cotisations depuis 1910, mais qui n'a pas encore atteint l'âge requis pour bénéficier de la retraite et qui ne remplit pas actuellement les conditions requises pour être immatriculé à l'assurance sociale, ni comme assuré obligatoire, ni comme assuré facultatif.

Réponse. — Les assurés obligatoires de la loi du 5 avril 1910, ne remplissant pas, à la date du 5 février 1930, les conditions prévues pour être immatriculés dans les assurances sociales et n'ayant pas droit à la liquidation de leur retraite ouvrière, conserveront le bénéfice des rentes éventuelles acquises par leurs versements. Au cas où ils se trouveraient momentanément susceptibles de bénéficier de la loi sur les assurances sociales, ils auraient le droit, en outre, à la rente résultant des versements opérés à leur compte individuel d'assurance-vieillesse au titre des assurances sociales. Les assurés facultatifs des retraites ouvrières auront droit, en sus, conformément à l'article 48 de la loi du 5 avril 1928, s'ils ont été inscrits avec droit au régime transitoire, au versement à leur compte d'assurance du capital représentatif de la portion de bonification ou d'allocation acquise par

eux à l'âge accompli à la date de mise en vigueur des assurances sociales.

4967. — M. Joseph Denais demande à M. le ministre du Travail : 1° si des salariés intermittents (cultivateurs travaillant pour le compte de voisins, femmes de ménage, etc.), qui ne souscriront pas à l'assurance facultative, seront astreints (ainsi que leurs employeurs) à payer la cotisation de 10 pour 100 sur le salaire, alors qu'ils travaillent comme salariés pendant moins de 120 jours par an; 2° si une mère de famille, allant faire des ménages pendent une heure ou deux par jour, et dont la cotisation, par conséquent, sera très minime, bénéficiera des mêmes avantages, notamment au point de vue des frais médicaux et pharmaceutiques, des secours de maternité, de la prime d'allaitement, de la pension d'invalidité ou de vieillesse, que les femmes de ménage travaillant huit heures par jour. (Question du 28 juin 1929.)

Réponse. — 1° Les travailleurs intermittents inscrits ou non dans l'assurance facultative, et travaillant, comme salariés, moins de 120 jours par an, seront soumis, comme leurs employeurs, aux obligations de la loi du 5 avril 1928, pendant les périodes de salariat. S'ils participent à l'assurance facultative ou à l'assurance spéciale aux femmes non salariées des assurés, les contributions ouvrières et patronales correspondant aux journées de travail salarié viendront en déduction des cotisations dues pour ces assurances; 2° les femmes de ménage, même travaillant une heure ou deux par jour, inscrites dans l'assurance obligatoire, bénéficieront comme telles des diverses prestations de l'assurance sous réserve de justifier du nombre de cotisations journalières exigées par la loi pour l'attribution de chaque prestation, mais, en ce qui concerne les prestations proportionnelles au salaire, elles n'auront ou n'ouvriront droit qu'aux indemnités, allocations ou pensions correspondant au salaire moyen défini pour chaque assurance par la loi du 5 avril 1928. Bien entendu, ces renseignements sont donnés sous réserve de la jurisprudence des tribunaux.

Sur l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux d'une société anonyme ayant des succursales à l'étranger.

Le « Journal officiel » du 10 septembre 1929 publie, page 2906 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

3788. — M. Neyret expose à M. le ministre des Finances qu'une société anonyme, dont le siège social, les bureaux et les usines se trouvent en France, possède à l'étranger un établissement ayant la même entité juridique dont le but est la vente à l'étranger, soit de marchandises reçues de la maison principale située en France, soit de marchandises fabriquées sur place dans ses ateliers et demande : 1° si, tenant compte de la question de territorialité pour l'exigibilité de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, rien ne s'oppose à ce que le compte de profits et pertes relatif aux bénéfices réalisés par l'établissement situé hors France soit exonéré dudit impôt; 2°, si, étant donné que cette société française possède à l'étranger des immeubles, du matériel, des dépôts en banque, des créances sur la clientèle, elle doit souscrire annuellement la déclaration spéciale des avoirs à l'étranger dans les délais légaux; 3° dans l'affirmative, quelles seraient les taxes qui pourraient être réclamées annuellement à ladite société sur chacun des biens spécifiés précédemment et ce à titre d'avoirs à l'étranger; 4° si, en admettant que la taxe à l'exportation suspendue par le décret du 4 janvier 1927 entre à nouveau en vigueur avec taux intermédiaire, les marchandises expédiées par la maison principale à l'établissement situé hors France seraient taxables, celles-ci ne donnant lieu bien entendu qu'à la production d'une facture pour ordre, sans aucun prix; 5° dans l'affirmative, sur quelle base serait liquidée la taxe susénoncée. (Question du 25 mars 1929.)

Réponse. — 1° La société en question n'est pas passible de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux à raison des bénéfices obtenus par la succursale qu'elle possède à l'étranger, mais les profits réalisés par la maison principale sur les marchandises qu'elle fournit à sa succursale étrangère doivent être compris dans les bases de l'impôt dû par la maison principale; 2° réponse négative; la déclaration des avoirs à l'étranger n'incombe qu'aux personnes physiques, à l'exclusion des personnes morales; 3° néanmoins, la société doit payer sur les intérêts de ses dépôts en banque l'impôt sur le revenu des capitaux mobiliers dans les conditions prévues par l'article 52 de la loi du 25 juin 1920, c'est-à-dire par voie de déclaration, dans les trois premiers mois de chaque année; 4° sous le régime d'imposition tel qu'il a été établi par la loi du 12 août 1926 et dont l'application se trouve actuellement suspendue, l'impôt est dû sur toutes les ventes sans qu'il y ait à distinguer suivant que celles-ci sont antérieures ou postérieures au fait de l'exportation de la marchandise. Toutefois, il ne devient exigible qu'au moment où les produits consignés ou renvoyés en dépôt à l'étranger ont été vendus; 5° la taxe frapperait le montant brut de la vente effectivement et définitivement réalisée, c'est-à-dire la somme versée par l'acheteur pour obtenir livraison de la marchandise.

Sur l'application de la taxe de transmission aux actions d'apport nominatives.

Le « Journal officiel » du 10 septembre 1929 publie, page 2916 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

4833. — M. Edouard Barthe expose à M. le ministre des Finances : *a)* que par application des dispositions de l'article 24 de la loi du 28 décembre 1922, l'Administration est en droit d'exiger la taxe de transmission sur tous les titres d'une société à dater de sa constitution; *b)* qu'en fait, l'Administration admet un tempérament à cette disposition rigoureuse, au profit des titres créés sous la forme nominative avant l'expiration du deuxième trimestre qui suit celui de la constitution définitive, et au profit des actions d'apport pendant la période de deux années au cours desquelles elles ne sont pas négociables; et demande si, en ce qui concerne les actions de cette nature, il n'y aurait pas lieu d'admettre par analogie que la taxe de transmission n'est pas applicable aux actions d'apport créées matériellement sous la forme nominative avant l'expiration du deuxième trimestre qui suit celui au cours duquel prend fin la période de non négociabilité, étant donné qu'il ne dépend pas des intéressés de prendre leurs dispositions pour créer les actions d'apport le jour même de l'expiration du délai de deux ans, dès lors que suivant le principe rappelé dans la réponse à la question n° 2244 du 8 janvier 1929, faite à M. Jean Molinié, l'abonnement au timbre ne peut être admis que pour les titres négociables, c'est-à-dire pour les actions d'apport à l'expiration du délai de deux ans. (Question du 25 juin 1929.)

Réponse. — Le tempérament visé par l'honorable député a pour but d'accorder aux sociétés un délai suffisant pour la création matérielle de leurs titres. Il n'a, par suite, aucune raison d'être pour les actions d'apport qui peuvent être créées pendant le délai de non négociabilité. A la vérité, si elles étaient créées sous une forme complète pendant le délai de deux ans, les actions d'apport seraient passibles du timbre de dimension; mais si la société se borne à tenir les formules prêtes, pour les compléter par la date et la signature le jour même où les actions deviennent négociables, l'application du timbre de dimension est évitée pour l'ensemble de ces actions, en même temps que celles d'entre elles, qui sont établies au nominatif, continuent à échapper à la taxe de transmission. Au surplus, s'il est exact que l'abonnement au timbre soit réservé aux seuls

titres négociables, l'Administration admet néanmoins, pour les actions d'apport, que l'abonnement soit souscrit vers la fin de la période de non-négociabilité pour prendre cours le lendemain du jour où expirera cette période.

Sur l'assujettissement à la vérification des poids et mesures.

Le « Journal officiel » du 10 septembre 1929 publie, page 2903 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

4888. — M. Grinda demande à M. le ministre du Commerce : 1° si un commerçant, qui ne vend aucun article au poids et ne se sert de ses balances que pour son usage personnel (pesée des colis postaux avant de les porter au chemin de fer), est soumis au contrôle du service des poids et mesures ; 2° dans l'affirmative, si ce contrôle doit être effectué sur place ou, au contraire, si ce service est en droit d'exiger que les balances lui soient présentées à son bureau. (Question du 27 juin 1929.)

Réponse. — Sont assujettis à la vérification les individus exerçant les commerces, industries et professions désignés au tableau A annexé au décret du 26 février 1873, quand leurs opérations se font au poids ou à la mesure (décret du 31 juillet 1910). D'autre part, aux termes de l'article 4 de la loi du 4 juillet 1837, il est interdit d'avoir dans les magasins, boutiques, ateliers ou maisons de commerce, des poids, mesures autres que les poids et mesures légaux. Le commerçant dont il s'agit, si sa profession figure sur la liste susvisée et s'il possède des instruments de mesure, est donc soumis à la vérification. Cette vérification a lieu soit au bureau du vérificateur, s'il en existe un dans la commune, soit à la mairie, soit dans tout autre lieu désigné par l'arrêté préfectoral réglant dans chaque département les conditions de la vérification des poids et mesures ; mais les assujettis, conformément à l'article 20 de l'ordonnance du 17 avril 1839, conservent la faculté de demander qu'elle ait lieu à leur domicile.

Sur les droits d'expropriation que confère aux compagnies ferroviaires la concession d'usines ou de lignes électriques.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 2996 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent ;

4997. — M. Jules Boyer expose à M. le ministre des Travaux publics ; *a*) que diverses compagnies de chemins de fer établissent sous le régime de la concession d'Etat, avec déclaration d'utilité publique, des usines hydrauliques et des lignes de transmission d'énergie électrique destinées à l'électrification des réseaux ; *b*) que l'article 12 de la loi du 15 juin 1906, sur les distributions d'énergie électrique, stipule que la déclaration d'utilité publique investit le concessionnaire, pour les travaux de la concession, de tous les droits que les lois et règlements confèrent à l'Administration en matière de travaux publics ; et demande si les dispositions ci-dessus entraînent ipso facto l'application pure et simple de l'article 58 de la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation et de l'article 19 de la loi du 29 décembre 1892 sur les dommages causés à la propriété privée par l'exécution des travaux publics. (Question du 2 jnillet 1929.)

Réponse. — L'application des dispositions des articles 58 de la loi du 3 mai 1841 et 19 de la loi du 29 décembre 1892 ne résulte pas ipso facto du fait que le concessionnaire d'une entreprise déclarée d'utilité publique jouit, pour les travaux de la concession des droits conférés à l'Administration en matière de travaux publics. Pour bénéficier de ces dispositions, il faut que le concessionnaire fasse usage des procédures établies par les lois susvisées, c'est-à-dire qu'il ait recours, dans le premier cas, à l'expropriation pour cause d'utilité publique, et, dans le second, à l'occupation temporaire de terrains privés pour études, extraction ou dépôt de matériaux, etc. En matière de distribution d'énergie électrique, le concessionnaire ne peut donc se prévaloir des dispositions des articles 58 de la loi du 3 mai 1841 et 19 de la loi du 29 décembre 1892 que pour les seules opérations accomplies en vertu de ces lois spéciales.

Sur la déclaration des bénéfices que doit faire une société lors de sa dissolution.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1044 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9298. — M. Jean Philip, sénateur, demande à M. le ministre des Finances, si une société industrielle, dissoute à partir du 31 décembre 1929, qui devra (art. 22 du Code de l'impôt sur les revenus) adresser dans les dix jours suivants, au contrôleur des contributions directes, un compte « profits et pertes » englobant les résultats de l'année 1929 et qui, en raison de son importance aurait besoin, pour arrêter les écritures, d'un délai minimum de six semaines, pourra obtenir un délai supplémentaire pour présenter lesdits renseignements, ou bien s'il sera admis que la dissolution ne soit contractée que par un acte établi fin février 1930, avec effet rétroactif du 31 décembre 1929 et dans ce cas si le délai de dix jours commencera à courir à partir du 10 février 1930. (Question du 29 mai 1929.)

Réponse. — Le délai de dix jours prévu à l'article 22 des lois codifiées (décret du 15 octobre 1926) commencera à courir du jour où la société envisagée aura définitivement fermé ses établissements, quelle que soit la date de l'acte de dissolution. Il n'est pas au pouvoir de l'Administration de proroger ce délai, mais si la société n'est pas en mesure de fournir, avant l'expiration du délai tous les renseignements nécessaires pour l'établissement de l'impôt, elle pourra se borner à souscrire une déclaration provisoire, en prenant l'engagement de la régulariser dès que les écritures du dernier exercice auront été arrêtées.

Sur la négociabilité des actions d'apport d'une société à responsabilité limitée qui se transforme en société anonyme.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1048 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9561. — M. Pol-Chevalier, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si, lorsqu'une société à responsabilité limitée a été transformée en société anonyme, les actions de cette dernière, provenant des parts de la société à responsabilité limitée, doivent être considérées comme des actions d'apport non négociables pendant deux ans, et, par conséquent, non soumises au droit de timbre proportionnel ; dans l'affirmative, si le délai de non négociabilité court de la date de la constitution de la société anonyme. (Question du 30 juillet 1929.)

Réponse. — Les actions de la société anonyme envisagée, si la transformation a été faite sans augmentation de capital, sont considérées comme immédiatement négociables, et, par suite, susceptibles d'être abonnées au timbre, à la condition que la transformation n'emporte pas création d'une société nouvelle. Toutefois, si des actions sont émises pour tenir lieu des parts de la société à responsabilité limitée correspondant à des apports en nature, elles ne sont négociables que s'il s'est écoulé un délai de deux ans du jour de la constitution desdits apports.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 2. — 11 JANVIER 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 4 janvier 1930, p. 41. — Bibliographie : Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik (Abrégé d'électrotechnique), par Adolf THOMALEN, p. 42; Structure de l'atome, tourbillon d'éther et pensées scientifiques indépendantes, par L. CUGNIN, p. 43; Newton, Maupertuis et Einstein : Réflexions à propos de la relativité, par F. PRUNIER, p. 43 ; Cours d'électricité, par M. VEAUX, p. 44 ; Comment on devient fraiseur, par René CHAMPLY, p. 44.

Section scientifique et technique. — Détermination de la puissance des moteurs électriques pour service intermittent, par C. SCHIEBELER, p. 45. — Revues, analyses et informations : Les prix de l'Académie des Sciences, p. 54; Note sur l'amplificateur à grande résistance de grille, p. 55; La théorie de l'absorption et les pertes dans les diélectriques, p. 56.

Section industrielle. — Un nouveau moteur asynchrone compensé (*suite et fin*), par H. DE PISTOYE, p. 57. — Revues, analyses et informations : Bobines d'inductance de mise à la terre avec noyau de fer excité par courant continu, p. 64; Le fonctionnement des usines génératrices et des réseaux interconnectés, p. 66; Effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs, p. 68; La signalisation des passages à niveau, p. 68.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydroélectriques, p. 69.

Section de législation. — La troisième phase de la réforme de la loi du 5 juillet 1844 sur les brevets d'invention, par FERNAND-JACQ, p. 71. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêté modifiant l'arrêté du 30 avril 1927 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique, p. 79 ; Sur l'application de la loi sur les assurances sociales, p. 79 ; Sur les droits de patente appliqués aux entreprises d'électrification rurale, p. 80; Sur l'impôt frappant le revenu des actions reçues par une société en rémunération d'apports faits à une autre société, p. 80; Sur l'impôt frappant les plus-values des valeurs mobilières possédées par une société, p. 80.

Société française des Electriciens : Séance du 4 janvier 1930. — Deux communications étaient inscrites à l'ordre du jour de cette séance : la première intitulée *Les stations centrales et les sous-stations automates*, par M. D'AUDEVILLE, ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique; la deuxième était une *Conférence cinématographique sur les redresseurs à vapeur de mercure*, par M. ROY, ingénieur à la Société Siemens-France.

1. COMMUNICATION DE M. D'AUDEVILLE. — Le développement des usines génératrices automates s'est, jusqu'à présent, affirmé surtout aux Etats-Unis; en Europe, au contraire, le nombre des installations de ce genre est encore restreint, en particulier en France où la seule usine automate existante est celle de Loulla, de la Société hydroélectrique de Fure et Morges et de Vizille, installée en 1923.

La multiplicité des organes de contrôle que requiert l'exploitation d'une usine génératrice moderne exige du personnel une attention soutenue entraînant des inconvénients nombreux dont seule l'automaticité ou même la semi-automaticité permet de s'affranchir. La suppression du personnel est le résultat de l'automaticité complète et permet d'obtenir des résultats très intéressants au point de vue économique ainsi que le conférencier le met en évidence : en effet il faut tenir compte de trois facteurs intervenant dans le prix de vente de l'énergie : *a*) le coût direct de l'énergie; *b*) les dépenses d'amortissement et d'intérêt des capitaux engagés; *c*) l'énergie totale fournie. Or le premier facteur dépend des frais d'entretien, donc des frais de personnel; le second facteur diminue en importance par la réduction des frais de bâtiments ce qui, en certains cas, permet d'échapper aux règles administratives ; enfin l'utilisation judicieuse des réserves d'énergie (bassins d'accumulation) mises en œuvre à des moments opportuns, contribue à l'amélioration du rendement et par suite à une réduction du prix de l'énergie.

Or, l'automaticité influence précisément les trois facteurs précités dans un sens favorable au but poursuivi. D'autre part, une usine génératrice automatique peut être installée dans les contrées inhospitalières où la présence du personnel serait difficilement admissible.

Le conférencier rappelle ensuite les principes de fonctionnement d'une installation automate : l'équipement générateur peut être réalisé soit au moyen d'une machine synchrone, soit au moyen d'une machine asynchrone, toutefois ces dernières machines exigent un apport d'énergie réactive fournie par le réseau et, par conséquent, les usines ainsi équipées ne peuvent servir d'installation de secours ; de plus la machine asynchrone donne lieu à une réduction du facteur de puissance.

Au point de vue des opérations à exécuter dans une usine génératrice automatique c'est-à-dire la mise en route,

l'arrêt, le contrôle et la surveillance, les commandes à distance peuvent s'effectuer soit par fil pilote soit sans fil pilote; dans le premier cas, il faut $n + 1$ fils, n étant le nombre d'organes à commander; dans le second cas, on a cherché à faire des commandes par ondes guidées ou par variation de fréquence.

Ces derniers systèmes ne paraissent pas entièrement au point; on emploie plus couramment des commandes déterminées par la manœuvre de l'interrupteur de ligne, par des relais d'échauffement, par des indicateurs de niveau d'eau, etc.

En ce qui concerne les procédés de démarrage des génératrices des usines automates, on peut, avec les machines asynchrones, démarrer en deux temps par insertion de résistances et, avec les machines synchrones, démarrer au moyen de la turbine.

On a employé pour la mise en synchronisme une dynamo tachymétrique agissant sur un relais contrôlant le fonctionnement du vannage, mais on utilise de préférence le dispositif de synchronisation automatique système Brown Boveri dont le conférencier expose le fonctionnement.

Dans certains cas, il y a intérêt à supprimer ce dispositif et à effectuer à l'usine principale le couplage de l'usine automatique.

Pour l'arrêt des groupes de l'usine automate on peut utiliser le phénomène d'emballement produit par la décharge brusque de la turbine.

La surveillance d'une usine génératrice automate doit s'effectuer d'une façon serrée afin que l'installation soit préservée contre les courts-circuits tant internes qu'externes; des limiteurs de courant sont utilisés afin que les surintensités temporaires de courant ne puissent être la cause d'un arrêt de l'installation; il est également intéressant d'employer, suivant les cas, des dispositifs à réenclenchements successifs avec relais thermique.

Pour la protection des machines, on prévoit des thermomètres à contacts; il est parfois utile d'installer des appareils accessoires tels que des dispositifs automatiques de nettoyage des grilles fonctionnant à des moments déterminés, au moyen d'horloges à contacts.

Le conférencier insiste sur la nécessité absolue d'obtenir une succession logique des diverses manœuvres, donc de prévoir des dispositifs de verrouillage, et, d'autre part, de chercher à réduire le nombre des relais. Il décrit ensuite quelques usines génératrices automatiques : Glattfelden (Suisse), Hofen (Suisse), Yokanova (Japon), Saint-Sulpice (France), etc., et fait remarquer que des unités de 7 500 kv-a fonctionnent à l'heure actuelle automatiquement à l'usine de Schlappin (Suisse). Enfin après avoir mis en évidence l'économie réalisée par l'automaticité du fait d'une meilleure utilisation de l'énergie, M. d'Audeville termine sa conférence en souhaitant que le développement de ce genre d'installation contribue à la mise en valeur rationnelle de nos richesses hydrauliques.

2. Communication de M. Roy. — Le conférencier rappelle d'abord les principaux avantages des redresseurs à vapeur de mercure : simplicité de fonctionnement, faible encombrement, rendement élevé. La gamme des puissances réalisées à l'heure actuelle s'étend jusqu'à des valeurs correspondant à des intensités de courant de 16 000 a et des tensions redressées de l'ordre de 10 000 v.

Le film cinématographique présenté par M. Roy avait trait à la fabrication des redresseurs à vapeur de mercure système Siemens-Schuckert, depuis l'usinage des matériaux demi-finis jusqu'à la mise en service. Il comprenait deux parties : la première concernant les redresseurs en verre, appareils construits pour des intensités de courant de 500 a au maximum, et la seconde les unités de grande puissance à cuve métallique.

Nons nous bornerons ici à indiquer les particularités présentées par les redresseurs à cuve métallique. Ces cuves sont en acier soudé électriquement et leur paroi interne est revêtue d'une chemise en zinc qu'il est facile de changer et sur laquelle ruisselle le mercure provenant de la condensation de la vapeur. Cette condensation est obtenue par un réfrigérant intérieur dans lequel est dirigé le jet de vapeur cathodique de manière à éviter le voisinage des anodes.

Afin que les gouttes de mercure condensé ne tombent dans l'arc et créent des surpressions susceptibles de provoquer des allumages en retour, on fait usage d'un déflecteur placé à la partie supérieure de la cuve de telle sorte que le mercure puisse ruisseler le long des parois.

Les joints étanches au vide du couvercle de la cuve et ceux des entrées d'anode sont simplement réalisés avec du caoutchouc traité et dégazé, inaltérable à 80°C.

Les anodes sont en graphite, leurs tiges sont entourées d'une matière réfractaire, leur pénétration dans la cuve est obtenue au moyen d'un isolateur de porcelaine avec joint au caoutchouc.

En ce qui concerne le dispositif d'allumage, la tige d'allumage sert à l'entretien de l'arc afin de réduire le nombre des entrées dans la cuve.

Le courant d'excitation est continu et est fourni par un petit redresseur à ampoule de verre.

L'entretien du vide est assuré par une pompe à palettes et une pompe à vapeur de mercure à trois étages et éjecteurs, à chauffage électrique alimenté par le petit redresseur d'excitation.

En terminant, le conférencier indique les principales causes d'avaries des redresseurs et les moyens d'y remédier, par exemple l'arrêt de la pompe de circulation, l'arrêt de la pompe à vide, les pertes de vide dues aux joints ou à la porosité des soudures, etc. Il signale l'importance d'un démontage et d'un nettoyage annuel des redresseurs, du fait qu'après une ou deux années de fonctionnement on constate des phénomènes d'allumage en retour; les impuretés qu'il est impossible d'éviter complètement sont en effet emportés dans le courant de mercure et produisent des encrassements avec ce dernier, d'où la formation de taches donnant lieu aux allumages en retour. — L. V.

A l'issue de ces communications, le président sortant, M. P. Bunet a annoncé l'élection de M. Paul Janet, membre de l'Institut comme président d'honneur de la Société française des Electriciens et a donné lecture du résultat du vote pour le renouvellement du Bureau et du Comité. M. P. Bunet a ensuite prononcé une courte allocution et a cédé la présidence à M. H. Parodi, élu l'an dernier président pour l'année 1930. — L. V.

Bibliographie : Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik (Abrégé d'électrotechnique), par Adolf Thomälen (1). Cet ouvrage a pour but d'établir la transition entre les ouvrages d'électricité générale et les ouvrages techniques se rapportant à telle branche bien déterminée de l'électrotech-

(1) Un volume, format 26 cm × 17 cm, de 344 pages, avec 581 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, Linkstrasse, 23-24, à Berlin W. 9. Prix : relié, 14,50 marks.

nique. Ici donc, les lois élémentaires de l'électricité sont supposées connues du lecteur et toutes les questions touchant à l'électrotechnique sont, sinon traitées d'une façon complète, au moins abordées et même étudiées avec une précision suffisante pour qu'il soit possible de se faire une idée très nette de la nature des difficultés soulevées.

Les soixante premières pages sont consacrées aux lois fondamentales de l'électricité, présentées en vue des applications envisagées au cours de l'ouvrage. Les machines à courant continu, les canalisations, les courants alternatifs et les méthodes de calcul (graphique et symbolique), pour traiter les problèmes en courant alternatif, les transformateurs, les machines synchrones, les moteurs asynchrones, les moteurs monophasés et triphasés à collecteur, les commutatrices, les redresseurs à vapeur de mercure, tels sont les objets des principaux chapitres de cet ouvrage.

L'étude qui en est faite est d'abord descriptive; l'auteur met en évidence les propriétés des machines soit par le calcul soit par un procédé graphique pour aboutir aux caractéristiques et aux diagrammes qui permettent de se rendre compte de l'importance relative des divers facteurs intervenant dans les phénomènes dont ces machines sont le siège. Il est tenu compte dans cette étude des travaux les plus récents sur ces questions. Nous mentionnerons, à ce propos, le chapitre relatif à la propagation des ondes sur une canalisation électrique et dans lequel sont résumées les lois qui régissent les phénomènes accompagnant la fermeture d'un circuit.

L'auteur, qui a le souci de donner des formules facilement applicables, a eu soin de préciser au début de son ouvrage les unités employées ; ce sont pour toutes les grandeurs autres que les grandeurs électriques et magnétiques celles du système C. G. S.; pour les grandeurs électriques ce sont les unités pratiques et pour les grandeurs magnétiques, des unités résultant d'une combinaison des unités pratiques et des unités C. G. S.; par exemple, le flux d'induction magnétique est exprimé en volts-secondes ; d'où l'induction magnétique, en volts-seconde par centimètre carré, le champ magnétique en ampères-tours par centimètre. Ainsi sont supprimés dans les formules de l'électrotechnique les coefficients numériques.

D'une façon générale, cet « abrégé » donne une idée très nette et aussi complète que possible, de l'état actuel des réalisations de l'électrotechnique. — A. C.

Bibliographie : Structure de l'atome, tourbillon d'éther et pensées scientifiques indépendantes, par L. Cugnin (1). — Il convient, tout d'abord, de faire remarquer que ce livre ne contient aucun calcul, aucune formule; l'auteur se contente d'interpréter les faits d'expérience connus ou, plus généralement, les phénomènes de la nature d'après ses propres conceptions qui sont, il l'avoue d'ailleurs lui-même, en opposition complète avec les théories actuellement en faveur. C'est ainsi qu'il admet l'existence d'un air mobile et il le considère « comme constitué par des grains très denses, de forme ovoïde, d'une ténuité extrême et animés d'une grande vitesse constante, communiquant à l'éther une rigidité et une élasticité égales à celles de l'acier. L'expérience de Michelson, les expériences de Rutherford et les conceptions de Bohr l'amènent à concevoir la matière comme formée d'éther plus ou moins condensé avec une évolution simultanée des astres et de la matière ». Les grains dont il s'agit sont animés d'une giration rapide autour de leur axe de figure et se déplacent avec une vitesse linéaire constante égale à la vitesse de la lumière dans le vide. Les vibrations hélicoïdales du grain d'éther, projectile gyroscopique, donnent naissance dans l'atome à des vibrations de chaleur sensible qui sont longitudinales et à des vibrations lumineuses qui sont transversales. L'auteur fait encore intervenir les tourbillons d'éther qui sont des champs magnétiques et les tourbillons atomiques se liant entre eux par engrènement des vibrations calorifiques. en réalisant les atomes cannelés de Descartes.

Ces citations empruntées au chapitre I paraissent suffisantes, d'une part, pour donner une impression d'ensemble du livre et, d'autre part, pour éveiller la curiosité des esprits épris d'idées originales.

Dans le livre II, l'auteur expose sa façon d'envisager la relation entre l'éther et l'inertie; dans le chapitre III, intitulé : « Genèse de l'atome, de la matière, de la chaleur et du champ électromagnétique », il montre, en particulier, que l'électron satellite qu'il a été amené à concevoir est animé de vibrations continues qui deviennent lumineuses sous une action extérieure et en émettant des ondes caractéristiques de l'atome considéré.

Les sujets traités dans les chapitres IV à VI sont : le rayonnement d'énergie de l'astre, la liaison et la détente des molécules gazeuses, le potentiel et la conductibilité électriques. On verra, au chapitre VII, que le champ de forces de la pesanteur terrestre résulte d'une accélération centripète de la terre et de la condensation des atomes terrestres; au chapitre VII, que les champs thermodynamiques sont produits par des flux d'énergie calorifique latente émis par la matière; au chapitre IX que, sous la forme de considérations générales, les phénomènes sont présentés sous une forme et un ordre différent. Enfin, le chapitre X est consacré à la gravitation newtonienne. — B. C.

Bibliographie : Newton, Maupertuis et Einstein : Réflexions à propos de la relativité, par F. Prunier (1). — C'est par trois articles publiés dans la « R. G. E. » au cours de l'année 1925 (7 et 14 février, t. XXVII, p. 207 et 242 ; 18 juillet, t, XVIII, p. 107) que l'auteur a fait connaître les principes fondamentaux des considérations développées dans la présente brochure. L'idée originelle dont procèdent ces considérations est la suivante : « Un esprit réfléchissant sur la relativité, reconnaissant l'accord, presque toujours excellent du point de vue qualitatif, qui existe entre les formules de cette théorie et les résultats de l'expérience, mais n'y trouvant pas des raisons assez fortes de souscrire aux concepts fondamentaux qu'elle comporte, n'a qu'une attitude possible. Ne pouvant voir dans l'accord des formules et des expériences qu'une simple coïncidence, il doit tenir ces formules pour quantitativement exactes et, dès lors, se préoccuper du sens qu'elles prendraient dans la science classique où elles expliqueraient vraisemblablement tout aussi bien les mêmes phénomènes quantitatifs. »

Dans une première partie intitulée : essai d'une dynamique newtonienne des champs de force naturels, l'auteur montre que tous les phénomènes d'ordre dynamique dont fait état la relativité sont parfaitement compatibles avec la mécanique newtonienne, compte tenu du fait que la force réellement appliquée peut varier avec la vitesse du corps sur lequel agit le champ. Ces phénomènes sont : le mouvement

(1) Un volume, format 23,5 cm × 15.5 cm, de 184 pages, édité par la librairie Marcel Bry, à Sceaux (Seine).

(1) Un volume, format 23,5 cm × 14 cm, de 80 pages, édité par la librairie A. Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris (6e). Prix : broché. 12 fr.

séculaire du périhélie des planètes, la déviation des rayons lumineux par le soleil, le déplacement des raies du spectre solaire, etc. Si la théorie de la relativité restreinte est moins facile à interpréter en langage newtonien, cela tient à la partie cinématique de la théorie. Cette question est discutée dans les chapitres II et III (l'entrainement possible de l'éther, phénomène électromagnétiques dans les systèmes en mouvement) où l'on montre également que toutes les expériences d'ordre dynamique ou cinématique, qui servent de base à la relativité, s'expliquent au moins aussi bien par le corps de doctrine que constituent la mécanique classique et la physique de Fresnel.

Dans le chapitre IV qui a pour titre : essai d'une physique de l'éther, M. Prunier tente de déterminer les propriétés par lesquelles l'éther conditionne les phénomènes électromagnétiques, optiques ou autres ; puis, dans le chapitre V (traduction du langage de la relativité dans le langage de la mécanique ordinaire), il complète et développe les formules établies au début de l'ouvrage et termine par quelques considérations sur « la conservation de la loi des formes de l'éther », c'est-à-dire ayant démontré la loi de la variabilité de la force avec la vitesse, ce qui lui a permis de déduire les équations de Lorentz et ayant obtenu des formules de transformation des forces électriques et magnétiques identiques à celles de la relativité, ce qui lui permet de conserver la forme des équations de Maxwell, il se propose de trouver le sens de cette transformation et de cette conservation. — B. C.

Bibliographie : Cours d'électricité, par M. M. Veaux, ingénieur en chef des Postes, Télégraphes et Téléphones (1). — « Il nous a été donné de constater, écrit M. M. Veaux dans l'introduction de son ouvrage, que de nombreux élèves, même provenant de cours supérieurs, se trouvent dans l'incapacité d'étudier tout problème d'électricité présentant un caractère de nouveauté et sortant du cadre des applications pratiques normalement enseignées » ; et l'auteur attribue ce fait à l'absence de coordination des lois élémentaires de l'électricité, d'une part, et, d'autre part, à ce que les hypothèses destinées à simplifier les problèmes ne sont pas toujours explicitées avec une précision suffisante.

Si la remarque de M. M. Veaux relative aux difficultés que rencontrent les débutants dans la résolution de problèmes nouveaux pour eux est parfaitement exacte, l'explication qu'il donne de ces difficultés, et qui est sévère à l'égard des nombreux cours d'électricité publiés jusqu'à ce jour, n'est certainement pas absolument en tout point exacte. En effet le défaut constaté chez les élèves placés en présence d'un problème d'électricité est générale : on retrouve chez les élèves ces mêmes difficultés dans la résolution de tout problème de la physique ou de la technique ; qu'il s'agisse de mécanique, de thermodynamique, etc., le débutant ne sait pas établir la liaison entre les divers phénomènes, ni choisir la méthode... et d'ailleurs, en toute sincérité, les ingénieurs avertis eux-mêmes ne sont-ils pas souvent embarrassés en présence de problèmes nouveaux ? Ne doit-on pas reconnaître la nécessité d'un certain entrainement dans l'examen de tous les facteurs qui peuvent intervenir dans le phénomène complexe étudié pour que l'analyse dudit phénomène conduise au résultat voulu ?

(1) Un volume, format 24 cm × 15 cm, de 452 pages, avec 252 figures dans le texte, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (7e). Prix : relié, 85 fr.

La sévérité du jugement de M. Veaux à l'égard des ouvrages publiés sur l'électricité ne nuit d'ailleurs en rien à la valeur de son nouveau cours d'électricité. Tandis qu'un grand nombre d'auteurs, sans l'avouer explicitement, traitent des lois générales de l'électricité en vue de leurs applications aux problèmes de l'électricité industrielle (machines et transmission de l'énergie), M. Veaux se défend de viser telle application plutôt qu'une autre ; et cependant, dans les exemples traités, on devine la nature des problèmes plus particulièrement familiers à l'auteur, bien connu déjà par ses ouvrages et publications sur la télégraphie et la téléphonie sans fil.

La notion de l'énergie et l'étude de ses transformations font l'objet du premier chapitre. Suit l'exposé des lois de l'électrostatique, de l'électrocinétique, de l'électromagnétisme, de l'électrodynamique et de l'induction électromagnétique.

Ces derniers chapitres sont très développés, l'auteur ne se bornant pas à énoncer la loi et à l'interpréter, mais tenant à en montrer les applications immédiates notamment dans l'étude de l'établissement d'un courant dans un circuit plus ou moins complexe ; il fait ressortir le rôle de la self-induction et de l'inductance mutuelle dans le cas de ces circuits complexes. Un dernier chapitre traite des courants alternatifs.

L'exposé de toutes ces questions est simple et méthodique ; sans faire appel à des développements mathématiques qui voilent trop souvent l'aspect physique des phénomènes. L'auteur n'exclut pas de ses explications les formules indispensables à la clarté de l'expression des lois énoncées. — A. C.

Bibliographie : Comment on devient fraiseur, par René Champly (1). — Cet ouvrage est un manuel pratique destiné aux ouvriers fraiseurs, outilleurs et régleurs des machines à fraiser. Il leur permet d'apprendre seul et sans maître l'usage de la fraiseuse.

L'auteur s'est efforcé de rendre faciles et compréhensibles les calculs des divisions et des engrenages à employer pour la taille des roues dentées et des vis sans fin. Le fraiseur devant savoir exécuter un grand nombre de calculs, aux formules indispensables se trouvent joints des tableaux de calculs faits, qui permettent à l'ouvrier d'éviter ceux-ci ou le cas échéant de les vérifier. Des conseils pratiques sont annexés à ces tableaux.

La taille des dentures coniques, des hélices et le procédé de taille des dents par vis-mère font l'objet de chapitres intéressants illustrés par des photographies, des croquis et des exemples de calculs numériques.

L'ouvrage se termine par l'explication des lignes trigonométriques et de l'usage des tables de ces lignes car l'emploi des lignes trigonométriques s'impose dans le calcul des pignons d'angle, des roues pour chaines et des dentures hélicoïdales, et l'ouvrier doit en avoir au moins une notion sommaire.

Ce livre doit donc être recommandé aux apprentis et aux manœuvres spécialisés, car il a été écrit en vue de faciliter la formation de l'ouvrier supérieur et du mécanicien. — L. F.

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 269 pages, avec 245 figures dans le texte, édité par la librairie Desforges, Girardot et Cie, 27-29, [quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 25 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Détermination de la puissance des moteurs électriques pour service intermittent

Le problème que se propose de résoudre l'auteur dans l'article qui suit est celui du choix du type de moteur pouvant convenir pour un service intermittent bien défini. Dans ce but, l'auteur introduit la notion de « facteur de marche », rapport de la durée de fonctionnement à la durée totale de la période de travail. La puissance que peut développer un moteur, pour un échauffement donné, dépend de ce facteur et c'est à l'étude de ces variations qu'est consacrée la première partie de l'article. Le rapprochement des divers cas qui peuvent se présenter conduit aux notions de « charge relative » et de « séries de charges » qui permettent de tenir compte des périodes de démarrage. Ces définitions étant posées et précisées par des exemples numériques, il est possible d'énoncer certaines règles à suivre dans le choix du moteur ; c'est l'exposé de ces méthodes qui fait l'objet de la dernière partie de l'article. A ce propos, l'auteur insiste sur la distinction à faire entre les conditions du service intermittent et celles du service temporaire ; il montre pourquoi cette distinction s'impose.

I. **Définitions.** — 1. Conditions thermiques de fonctionnement d'un moteur électrique. — Un moteur électrique transforme en travail mécanique l'énergie que lui fournit un réseau. Cette transformation d'énergie est toujours accompagnée de pertes thermiques. La chaleur produite est, en partie, emmagasinée dans le moteur et, en partie, dissipée par rayonnement et par convexion. L'échauffement du moteur ne doit pas dépasser une valeur limite au-dessus de laquelle la détérioration de l'isolant serait à craindre.

Les pertes totales d'un moteur électrique étant approximativement proportionnelles au carré de la puissance effective, il en est de même de la chaleur mise en jeu, qui est, en outre, proportionnelle à la durée de service.

2. Définition des divers services. — Le service d'un moteur est défini par la succession dans le temps des régimes auxquels il est soumis, en tenant compte de leur durée. On distingue notamment :

1° *Le service continu*, qui est un service permanent à régime constant, et pendant lequel le moteur peut être en circuit durant des heures entières sans échauffement exagéré ;

2° *Le service temporaire*, dans lequel le moteur atteint son échauffement limite après un temps déterminé, généralement après 30 ou 90 minutes. Le moteur doit alors être mis hors circuit et la période de repos doit être suffisante pour rétablir l'égalité de température avec la température ambiante ;

3° *Le service intermittent*, qui est constitué par une suite de durées de fonctionnement du moteur, séparées par des intervalles de repos.

Cette étude a pour but de déterminer comment un moteur électrique se comporte en service intermittent et de fournir des bases nouvelles pour la détermination de sa puissance.

Les applications des moteurs électriques travaillant en service intermittent sont nombreuses ; citons, par exemple, les ponts roulants, les monte-charge, les grues, les dragues, les plaques tournantes, les cabestans, les services auxiliaires de laminoirs, les vannes d'écluses ou de conduites forcées, etc. Les durées de fonctionnement et les intervalles de repos de ces machines se comptent par minute ou fractions de minute, et ces périodes de marche et d'arrêt se répètent souvent durant la journée entière.

Pour un service intermittent périodique, l'échauffement du moteur varie en fonction du temps suivant une ligne irrégulière (fig. 1) approchant asymptotique-

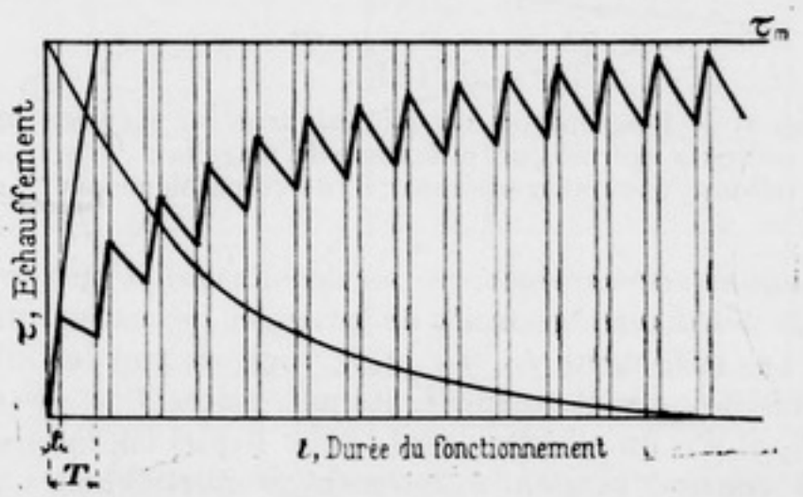


Fig. 1. — Courbe représentant la variation de l'échauffement τ d'un moteur pour service intermittent, t étant la durée de fonctionnement et T, la durée totale d'une période de travail en service intermittent.

ment de la valeur limite τ_m. Quand, après quelques heures de service, la température limite est atteinte, la chaleur produite pendant une nouvelle mise en cir-

cuit du moteur est entièrement dissipée par la surface pendant l'intervalle de repos suivant. La valeur $\tau = 0$ correspond à la température ambiante et τ_m, à l'échauffement limite.

3. Facteur de marche. — Pour un type de moteur déterminé, la charge pourra être d'autant plus forte que le rapport de la durée de fonctionnement t à la durée totale de la période de travail T sera plus petit. Nous nous proposons d'appeler le rapport $\frac{t}{T}$ « facteur de marche ». On obtiendra pour des durées de fonctionnement de t_{15}, t_{25} et t_{40} et pour une même durée de la période de travail T les différents diagrammes de la figure 2, correspondant à des facteurs de marche qui sont, par définition

$$\frac{t_{15}}{T} = 0{,}15, \qquad \frac{t_{25}}{T} = 0{,}25, \qquad \frac{t_{40}}{T} = 0{,}40.$$

Ces trois valeurs correspondent à peu près respective-

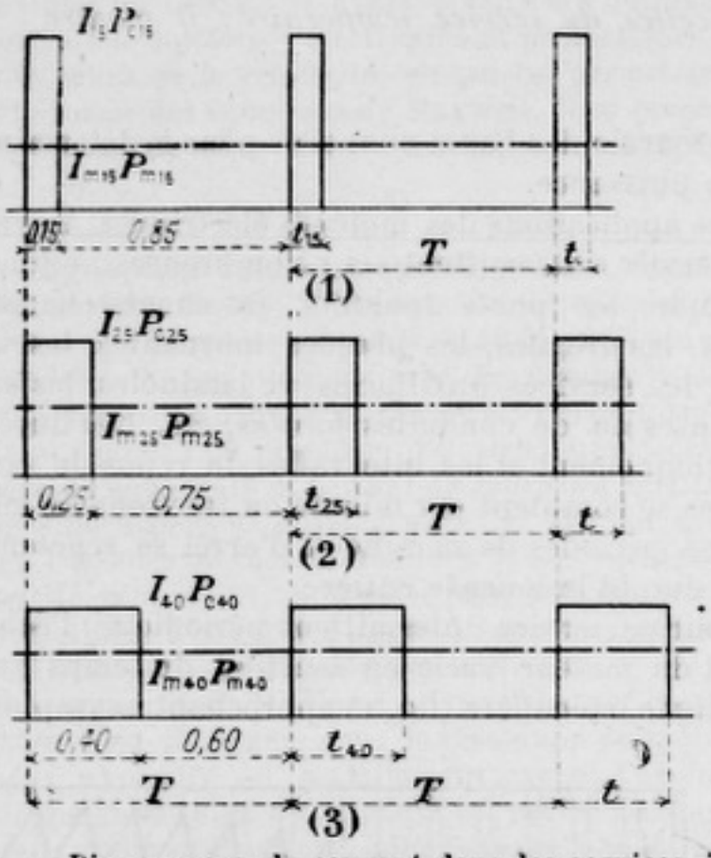


Fig. 2. — Diagrammes du courant dans les services intermittents définis par le facteur de marche : 1, de 15 centièmes ; 2, de 25 centièmes ; 3, de 40 centièmes.

ment au service léger, au service normal et au service dur des divers appareils de levage et de manutention.

Les ordonnées I_{15}, I_{25} et I_{40} représentent les intensités de courant ou encore les puissances effectives P_{15}, P_{25} et P_{40} du moteur idéal, pour lequel les intensités de courant seraient exactement proportionnelles aux puissances effectives.

II. **Echauffement en service intermittent.** — 1. Cas du moteur idéal. — L'échauffement du moteur idéal étant supposé identique pour les trois régimes envisagés, on peut écrire

$$P_{15}^2 t_{15} = P_{25}^2 t_{25} = P_{40}^2 t_{40} = P_{moy}^2 T.$$

ou

$$P_{moy} = P_{15}\sqrt{\frac{t_{15}}{T}} = P_{25}\sqrt{\frac{t_{25}}{T}} = P_{40}\sqrt{\frac{t_{40}}{T}}$$

ou, en généralisant,

$$P_{moy} = P\sqrt{\frac{t}{T}},$$

P_{moy} étant la puissance moyenne fictive qui, pendant le temps T, provoquerait le même échauffement que les puissances réelles P pendant les durées de fonctionnement t.

La valeur P_{moy} permet d'analyser l'échauffement des moteurs en se basant sur leurs diagrammes de charge.

Pour bien mettre en évidence l'échauffement d'un moteur pour différents régimes, nous avons porté sur la figure 3 a le travail mécanique effectif correspondant à un facteur de marche de 15, 25 et 40 pour 100 et sur la figure 3 b la quantité de chaleur dégagée pendant la durée de fonctionnement du moteur.

En admettant que, pour un type de moteur déterminé, la capacité de rayonnement de la chaleur reste

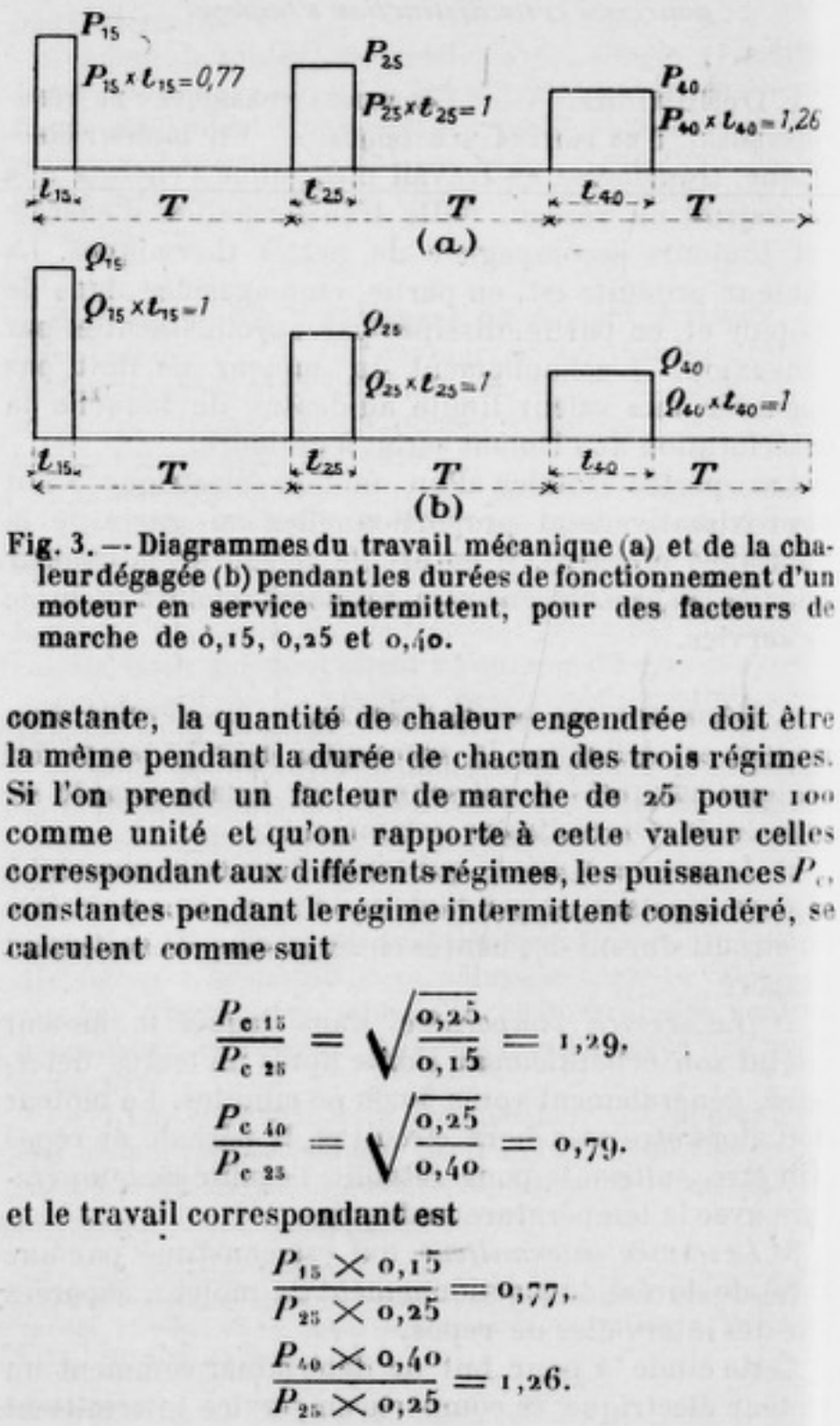


Fig. 3. — Diagrammes du travail mécanique (a) et de la chaleur dégagée (b) pendant les durées de fonctionnement d'un moteur en service intermittent, pour des facteurs de marche de 0,15, 0,25 et 0,40.

constante, la quantité de chaleur engendrée doit être la même pendant la durée de chacun des trois régimes. Si l'on prend un facteur de marche de 25 pour 100 comme unité et qu'on rapporte à cette valeur celles correspondant aux différents régimes, les puissances P_c, constantes pendant le régime intermittent considéré, se calculent comme suit

$$\frac{P_{c\,15}}{P_{c\,25}} = \sqrt{\frac{0{,}25}{0{,}15}} = 1{,}29.$$

$$\frac{P_{c\,40}}{P_{c\,25}} = \sqrt{\frac{0{,}25}{0{,}40}} = 0{,}79.$$

et le travail correspondant est

$$\frac{P_{15} \times 0{,}15}{P_{25} \times 0{,}25} = 0{,}77,$$

$$\frac{P_{40} \times 0{,}40}{P_{25} \times 0{,}25} = 1{,}26.$$

En d'autres termes, si l'on prend comme unités la puissance du moteur et le travail fourni pour un facteur de marche de 25 pour 100, le moteur peut produire une puissance de 1,29 et un travail de 0,77 pour un facteur de marche de 15 pour 100. Pour un facteur de charge de 40 pour 100, la puissance est de 0,79 et le travail de 1,26, la quantité de chaleur développée étant la même. La figure 4 indique par des graphiques la puissance constante en régime intermittent P_c, la puissance moyenne correspondant au même échauffement P_{moy}, et la valeur moyenne du travail du moteur $P\frac{t}{T}$ en fonction du facteur de marche du moteur idéal.

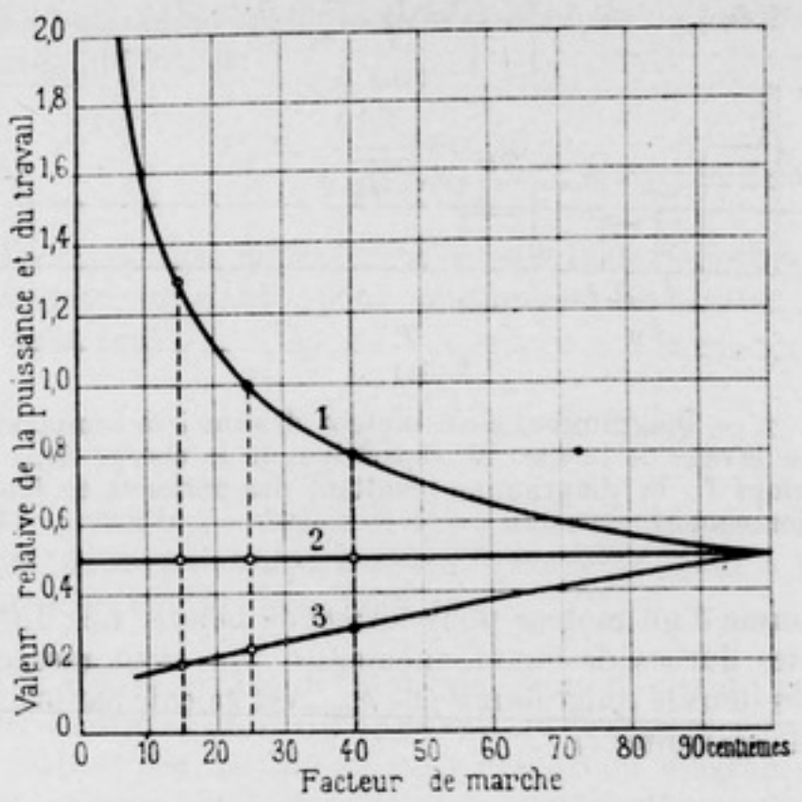


Fig. 4. — Courbes représentant les variations en fonction des facteurs de marche du moteur idéal : 1, de la puissance constante P_c en régime intermittent ; 2, de la puissance moyenne P_{moy} produisant le même échauffement ; 3, de la valeur moyenne du travail $P\frac{t}{T}$.

2. Conditions réelles de fonctionnement. — Il a été précisé plus haut que les relations précédentes ne s'appliquent qu'au moteur idéal. Il a été supposé, en effet, que toutes les pertes du moteur varient avec le carré de la puissance effective. Or, cette hypothèse n'est que partiellement exacte, car les pertes dans le fer, par exemple, ne sont pas proportionnelles au carré de la puissance, mais indépendantes de la charge et leur influence sur l'échauffement du moteur sera d'autant plus grande que le facteur de marche du moteur sera plus élevé.

Il a été admis, en outre, que la chaleur dissipée par le moteur reste la même si le moteur tourne ou s'il est arrêté, ce qui n'est pas le cas pratiquement. Le rayonnement augmente avec le facteur de marche et il est nécessairement d'autant plus grand, que la ventilation de l'induit en mouvement est plus efficace. Par conséquent, la puissance équivalente d'échauffement du moteur n'est pas une ligne droite, comme représenté en figure 4, mais une courbe dont l'allure dépend de la construction du moteur. Les figures 5 et 6 donnent, par exemple, les courbes P_{moy} et P_c, la première, d'un moteur série à courant continu, type blindé ; la seconde, d'un moteur série à courant continu, type ouvert, dont l'induit est muni d'un ventilateur. Pour un facteur de marche de 15 à 25 pour 100, valeurs qui déterminent généralement le service des appareils de levage et de manutention, l'allure de la courbe P_{moy} (fig. 5) est

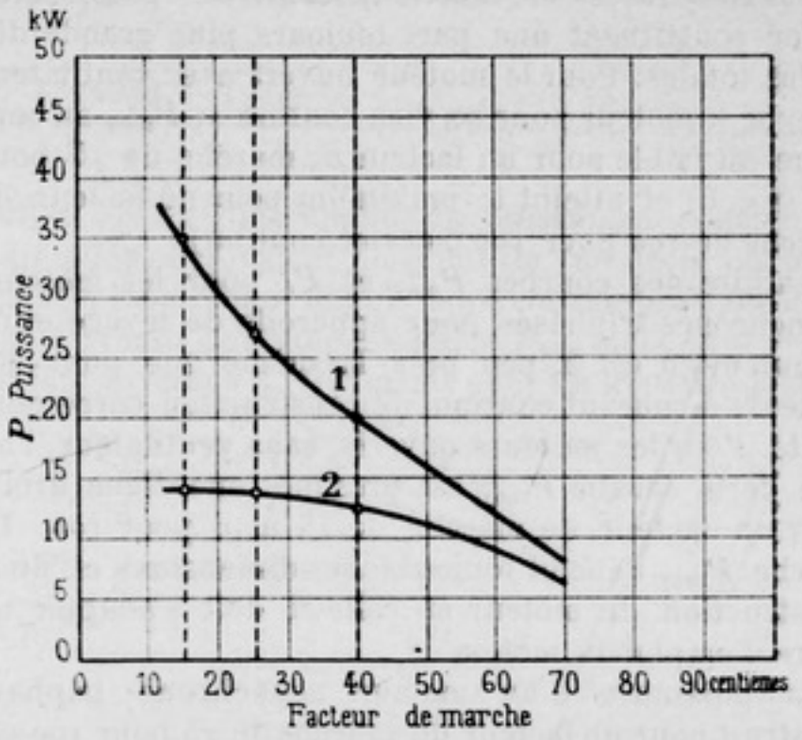


Fig. 5. — Courbes représentant les variations en fonction des facteurs de marche d'un moteur série à courant continu, type blindé : 1, de la puissance constante P_c en service intermittent ; 2, de la puissance moyenne P produisant le même échauffement.

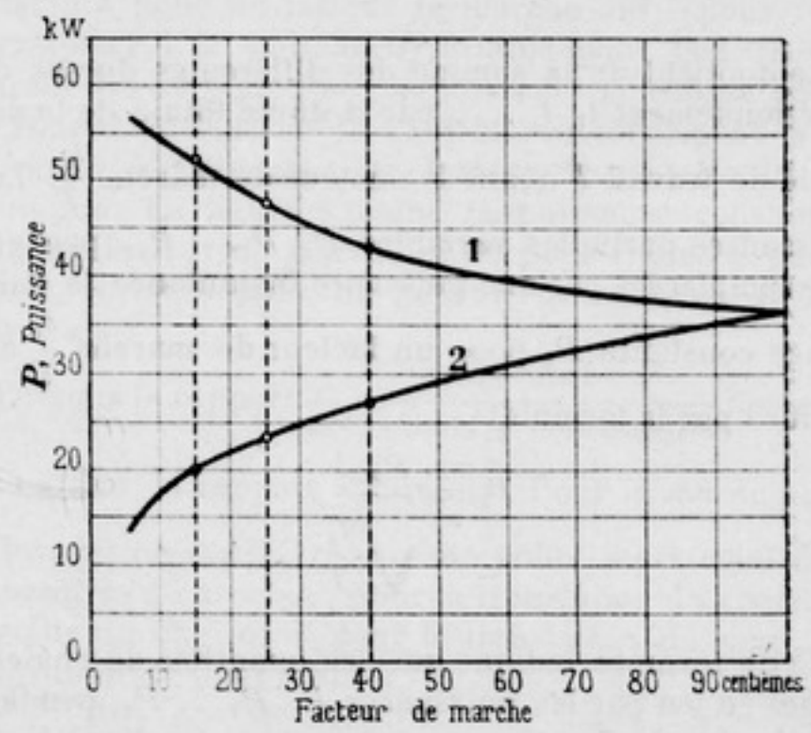


Fig. 6. — Courbes représentant les variations en fonction des facteurs de marche d'un moteur série à courant continu, type ouvert et ventilé : 1, de la puissance constante P_c en service intermittent ; 2, de la puissance moyenne P_{moy} produisant le même échauffement.

approximativement une ligne droite pour le moteur blindé ; elle décline faiblement de 25 à 40 pour 100 et rapidement au delà de 40 pour 100. Cette allure descendante de la courbe est motivée par le fait que, pour les longues durées de fonctionnement, les pertes dans le fer constituent une part toujours plus grande des pertes totales. Pour le moteur ouvert avec ventilateur du type « moteur pour service continu », P_{moy} au contraire est faible pour un facteur de marche de 15 pour 100 (fig. 6) et atteint le maximum pour un facteur de marche de 100 pour 100 (service continu).

L'allure des courbes P_{moy} et P_c pour les moteurs asynchrones triphasés pour appareils de levage et de manutention est à peu près la même que pour les moteurs à courant continu de construction correspondante. Pour les moteurs ouverts, sans ventilateur, l'allure de la courbe P_{moy} est presque une ligne droite pour un facteur de marche de 15 à 40 pour 100. La courbe P_{moy} dépend toujours des dimensions ét de la construction du moteur et celle-ci doit s'adapter au genre d'emploi du moteur.

La puissance d'un moteur asynchrone triphasé construit pour un facteur de marche de 15 pour 100 est d'autant plus grande que le flux magnétique est plus grand ; pour les facteurs de marche élevés, c'est le cas contraire.

S'il existe un diagramme de marche pour une durée de fonctionnement donnée, le moteur pour service intermittent devra être déterminé en se basant sur la puissance équivalente d'échauffement telle qu'elle est donnée par le diagramme. La figure 7 a, donne le diagramme d'un moteur pour levage de benne. Les différentes durées de fonctionnement t_1, t_2... sont rassemblées dans le diagramme 7 b ; P_{moy} est calculé par la formule suivante (1)

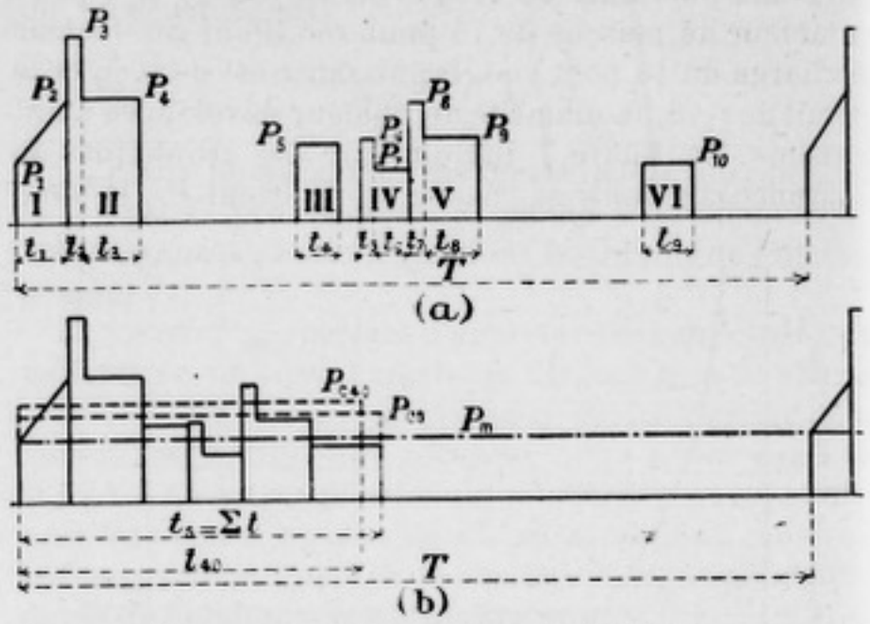


Fig. 7. — Diagrammes d'un moteur destiné à la commande du levage de benne: a, répartition de la charge dans le temps T; b, diagramme résultant des périodes de fonctionnement.

$$P_{moy} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(P_1^2 + P_1P_2 + P_2^2)t_1 + P_3^2t_2 + P_4^2t_3 + P_5^2t_4 + P_6^2t_5 + P_7^2t_6 + P_8^2t_7 + P_9^2t_8 + P_{10}^2t_9}{T}}. \quad (1)$$

Le quotient de la somme des différentes durées de fonctionnement t_1, t_2..., t_9 par la durée totale de la période de travail T donne le facteur de marche $\frac{t_s}{T}$. Les puissances partielles variables P_1, P_2..., P_{10} peuvent être remplacées par une puissance instantanée, la puissance constante P_c pour un facteur de marche $\frac{t_s}{T}$ est donnée par la formule

$$P_c = \frac{P_{moy}}{\sqrt{\frac{t_s}{T}}}.$$

Cette formule indique que les quantités de chaleur mises en jeu par les puissances P_1, P_2..., P_{10} pendant les durées de fonctionnement t_1, t_2..., t_9, d'une part, et par la puissance P_c dans le temps t_s, d'autre part, sont les mêmes que celle produite par la puissance moyenne P_{moy} équivalente par l'échauffement dans le temps T. Les catalogues des moteurs pour appareils de levage et de manutention n'indiquant ordinairement que les puissances constantes pour des facteurs de marche de 15, 25 et 40 pour 100, il faut rapporter la puissance constante P_{40} pour le facteur de marche de 40 pour 100 à la puissance constante la plus proche dans le catalogue, à l'aide de la formule

$$P_{40} = P_c \frac{t_s}{T \times 0{,}4}.$$

3. Application numérique. — Supposons données les durées de fonctionnement d'un moteur de levage qui seraient, par exemple, les suivantes :

1° fermer la benne	$t_1 = 8$ s	$P_1 = 46$ ch	
		$P_2 = 92$ ch	
2° lever la benne chargée	$t_2 = 2$ s	$P_3 = 138$ ch	
	$t_3 = 8$ s	$P_4 = 92$ ch	
3° descendre la benne chargée	$t_4 = 6$ s	$P_5 = 56$ ch	
4° ouvrir la benne	$t_5 = 2$ s	$P_6 = 60$ ch	
	$t_6 = 6$ s	$P_7 = 36$ ch	
5° lever la benne vide	$t_7 = 2$ s	$P_8 = 86$ ch	
	$t_8 = 8$ s	$P_9 = 60$ ch	
6° descendre la benne vide	$t_9 = 8$ s	$P_{10} = 40$ ch	
	$t_s = 50$ s		

La durée totale de la période de travail étant $T = 120$ s, si le nombre d'opérations est de 30 par heure, et la durée de fonctionnement, t_s, de 50 s, le facteur de marche est

$$\frac{t_s}{T} = \frac{50}{120} = 0{,}42.$$

La puissance moyenne équivalente d'échauffement est calculée d'après la formule

$$P_{moy} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(46^2+46\times92+92^2)8+(138^2\times2+92^2\times8)+56^2\times6+(60^2\times2+36^2\times6)+(86^2\times2+60^2\times8)+40^2\times8}{120}}$$

$$=\sqrt{\frac{39498+105800+18816+14976+22688+12800}{120}}=42,3 \text{ ch.}$$

La puissance constante pour une durée de fonctionnement de 50 s est

$$P_c = \frac{42,3}{\sqrt{0,42}} = 65,5 \text{ ch.}$$

En rapportant la puissance constante de 65,5 ch à la puissance constante pour un facteur de charge de 40 pour 100

$$P_{c40} = 65,5\sqrt{\frac{0,42}{0,40}} = 67 \text{ ch,}$$

il est possible de choisir le type dans la série des moteurs pour puissance constante correspondant à un facteur de charge de 40 pour 100.

III. **Règle pratique énoncée dans le cas du moteur commandant un appareil de levage.** — Dans la plupart des cas, on ne peut établir un diagramme exact donnant la succession et le nombre d'opérations par heure. Dans ce cas, on se contentera de déterminer approximativement la durée de fonctionnement ainsi que la variation des charges. Chaque opération complète comprend, par exemple, une marche avec crochet chargé (charge utile + poids mort) et un trajet à crochet vide (poids mort). Un moteur de levage s'échauffe évidemment moins dans la seconde que dans la première opération. La puissance nécessaire pour le levage en pleine charge peut donc être fournie par le moteur pendant une durée de fonctionnement relativement plus longue, si le service est à puissance variable que s'il est à puissance constante. Les traits ponctués de la figure 8 montrent pour une durée de travail t_v les

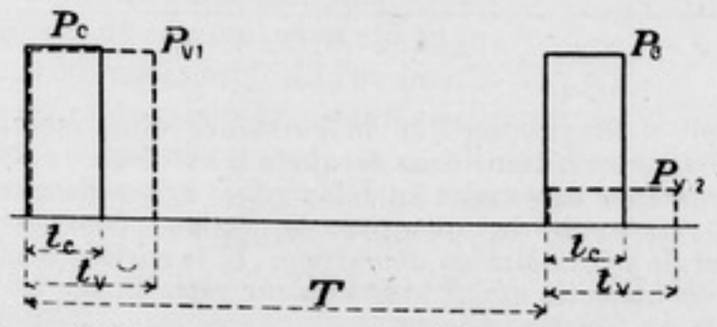


Fig. 8. — Diagrammes permettant de comparer les puissances constantes P_c (trait plein) et les puissances variables P_v (trait interrompu) d'un moteur asynchrone triphasé.

puissances variables P_{v1} pour le levage de la pleine charge et P_{v2} pour le levage du crochet vide. On peut alors transformer le diagramme des puissances variables en un diagramme de puissances constantes (trait plein) équivalent au point de vue de la chaleur dégagée. En prenant la puissance constante P_c, égale à la plus grande puissance variable P_{v1}, mais en service pendant le temps t_c, il s'ensuit pour un moteur idéal

$$\frac{P_{v1}^2\times t_v + P_{v2}^2\times t_v}{T} = \frac{P_c^2\times 2\,t_c}{T},$$

d'où l'on peut déduire, puisque $P_c = P_{v1}$

$$\frac{t_v}{t_c} = \frac{2P_{v1}^2}{P_{v1}^2+P_{v2}^2}.$$

Si pour un appareil de levage on a P_{v2} égal à environ $0,45\,P_{v1}$, on aura

$$\frac{t_v}{t_c} = \frac{2}{1,2} = 1,66.$$

Du fait que $\frac{25}{15} = 1,6$ et $\frac{40}{25} = 1,6$ il résulte, pour un appareil de levage avec palan, où l'on a approximativement $P_{v2} = 0,45\times P_{v1}$, la règle suivante : la puissance constante pour un facteur de marche de 15 pour 100 correspond à la puissance variable pour facteur de marche de 25 pour 100 ; la puissance constante pour un facteur de marche de 25 pour 100 correspond à la puissance variable pour un facteur de marche de 40 pour 100. La figure 8 donne la puissance constante pour un facteur de marche de 15 pour 100 et la puissance variable pour un facteur de marche de 25 pour 100.

Lorsque le rapport $\frac{\text{poids mort}}{\text{poids mort} + \text{charge utile}}$ devient plus grand, le rapport $\frac{t_v}{t_c}$ diminue. Pour le mécanisme de levage, on considère comme poids mort celui des accessoires du crochet ; pour la translation du chariot, le poids du chariot et pour la translation du pont, le poids total du pont roulant.

IV. **Charge relative.** — Pour mieux comprendre cette variation de charge, on peut introduire la notion de « charge relative », définie par la relation

$$\frac{\frac{C_0}{C_p}+1}{2},$$

où C_p est le couple sur l'arbre du moteur à pleine charge

(charge utile + poids mort) et C_0, le couple sur l'arbre du moteur à charge minimum.

Pour déterminer $\frac{C_0}{C_p}$, il faut tenir compte de ce que le rendement du mécanisme diminue aux faibles charges. La valeur relative de la charge est de 0,55 à 0,60 pour des appareils de levage avec palan ; de 0,75 à 0,80 pour des appareils de levage avec benne ; de 0,65 à 0,75 pour la translation du chariot d'un pont roulant ; de 0,75 à 0,90 pour la translation du pont roulant même. La charge relative 1, c'est-à-dire correspondant à une charge constante, se présente, par exemple, dans le cas de la translation d'un pont de chargement avec benne, car, dans ce cas, le poids du contenu de la benne est très petit par rapport au poids mort du pont de chargement.

Dans l'établissement d'un projet, il est utile de réunir les caractéristiques « facteur de marche » et « charge relative » dans des « séries de charges », comme l'indique le tableau I.

TABLEAU I. — *Tableau de séries de charges.*

FACTEUR de marche	SÉRIE DE CHARGES EXIGÉES		
	charge variable		charge constante
	charge relative 0,6	charge relative 0,8	
en centièmes			
15	I puissance maximum	I puissance maximum	II
25	II	moyenne de la série II + III	III
40	III	moyenne de la série III + IV	IV

La série I correspond à la puissance maximum du moteur, qui est limitée par la commutation s'il s'agit d'un moteur à courant continu et par le couple de démarrage s'il s'agit d'un moteur à courant triphasé. Pour une charge constante, la série II correspond à un facteur de marche de 15 pour 100, la série III, à un facteur de marche de 25 pour 100 et la série IV, à un facteur de marche de 40 pour 100. La figure 9 montre la capacité de service des différentes séries de charges pour des valeurs variables du facteur de marche et de la charge relative.

Pendant l'accélération des masses au démarrage, le moteur doit fournir une puissance qui dépasse de beaucoup la puissance nécessaire en régime normal. Si les durées de fonctionnement sont nombreuses, on doit en tenir compte en adoptant un type plus grand de moteur. Si, d'après la figure 10, un moteur fournit la puissance de démarrage P_d pendant la durée de démarrage t_d et la puissance P_c pendant le temps t_l, l'expression

$$\frac{t_d + t_l}{T}$$

représente le facteur de marche du diagramme. Si on répartit la quantité de chaleur équivalente au travail

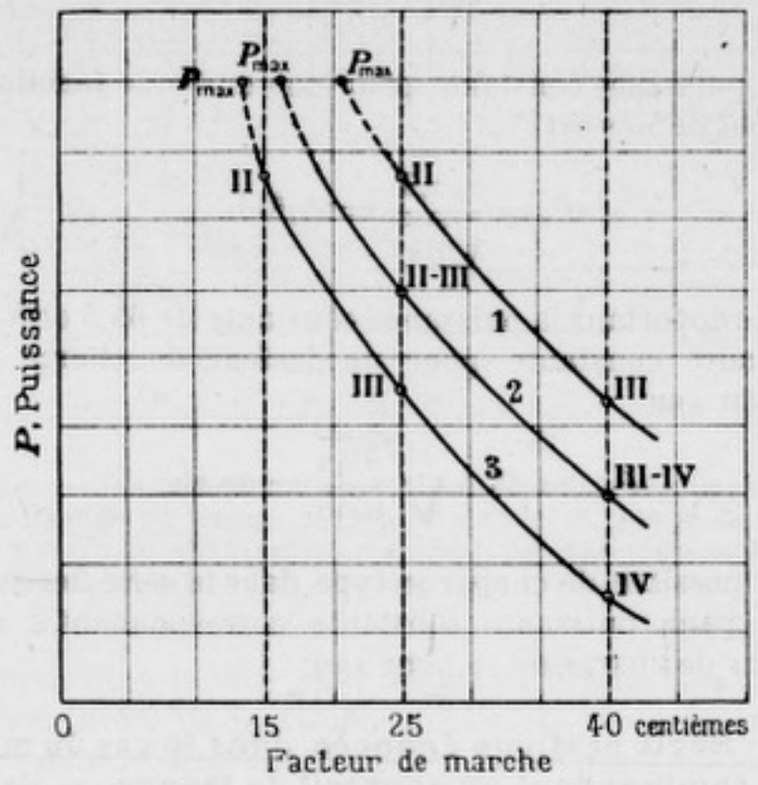


Fig. 9. — Courbes représentant les variations en fonction des facteurs de marche de la puissance fournie par le moteur pour les charges relatives : 1, de 0,6 ; 2, de 0,8 ; 3, de 1. Les courbes montrent la répartition des séries de charges des moteurs en service intermittent.

d'accélération représenté par la surface hachurée $(P_d - P_c)\, t_d$ du diagramme de la figure 10 a sur la durée totale de fonctionnement du moteur $t_d + t_l$, comme représenté sur la figure 10 b, il s'ensuit, pour

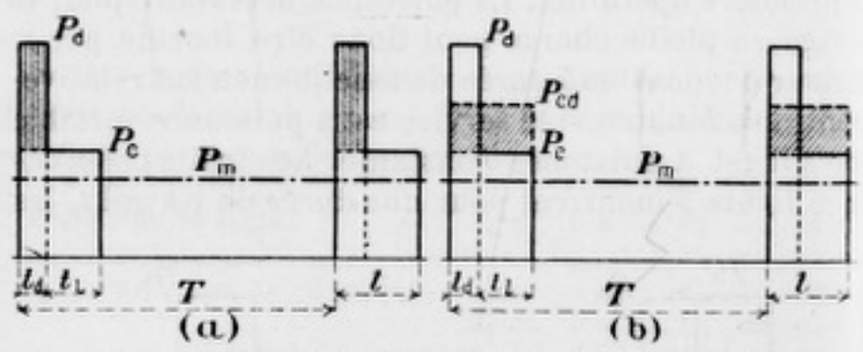


Fig. 10. — Diagrammes de la puissance d'un moteur en service intermittent dans lesquels il est tenu compte de la puissance nécessaire au démarrage : a, la surface hachurée représente la quantité de chaleur équivalente à l'énergie nécessaire au démarrage ; b, la surface hachurée représente cette quantité de chaleur répartie sur la durée totale du fonctionnement.

un même échauffement du moteur, une puissance équivalente d'échauffement P_{moy} pour les deux diagrammes

$$P_{moy} = \sqrt{\frac{P_d^2\, t_d + P_c^2\, t_l}{T}} = \sqrt{\frac{P_{cd}^2\, (t_d + t_l)}{T}},$$

où P_{cd} est la puissance en pleine charge à la fin du démarrage.

L'augmentation de puissance nécessitée par le travail d'accélération est déterminée encore par le nombre de mises en circuit par heure h_d, qui sont effectuées pour accélérer jusqu'à pleine vitesse. Il s'ensuit pour la puissance P_{cd} l'expression suivante, qui contient l'augmentation de puissance nécessaire pour l'accélération à pleine charge,

$$P_{cd} = P_c \sqrt{\frac{t_d\, h_d \left[\left(\frac{P_d}{P_c}\right)^2 - 1\right]}{3600 \times \frac{(t_d + t_1)}{T}} + 1}.$$

Exemples. — 1. Soit pour un appareil de translation

$$t_d = 6\,s;\ h_d = 60;\ \frac{P_d}{P_c} = 2;\ \frac{t_d + t_1}{T} = 0{,}40;$$

on a alors $P_{cd} = 1{,}32\ P_c$, c'est-à-dire la puissance du moteur doit être de 32 pour 100 plus grande que la puissance normale à cause de l'énergie absorbée à l'accélération.

Pratiquement, le démarrage du moteur ne s'effectue pas suivant une ligne droite, comme l'indique la figure 10, mais il donne lieu à des variations brusques du courant, dont l'amplitude dépend du nombre de plots et du couplage du démarreur.

En général, il vaut mieux ne pas choisir la puissance de démarrage P_d plus grande que 1,5 fois la puissance intermittente, pour un facteur de marche de 25 pour 100, c'est-à-dire qu'on calcule la durée d'accélération d'après $P_d = 1{,}5 \times P_{c25}$, pour tenir compte du diagramme effectif des pointes et de la limite de surcharge du moteur.

2. On se propose de déterminer le moteur destiné à la translation d'un pont de chargement avec benne pour 4 t; les données sont les suivantes :

Poids mort + charge utile, $Q = 35\,000$ kg;
Longueur du chemin de roulement, 40 m;
Résistance de la voie, $w = 15$ kg:t, soit 525 kg;
Rendement du mécanisme, $\eta = 0{,}8$;
Vitesse de régime, $v = 2{,}5$ m:s;
Manœuvres complètes par heure, 25;
Nombre de mises en circuit par heure, $h_d = 50$.

Dans le calcul suivant, on a admis que la puissance nécessaire pour la translation du pont est la même pour les courses dans les deux sens, étant donné que la charge utile de 2 tonnes est très petite par rapport au poids mort.

La puissance normale est

$$P_c = \frac{525 \times 2{,}5}{75 \times 0{,}8} = 22 \text{ ch.}$$

En admettant une puissance de démarrage

$$P_d = 2{,}5 \times P_c = 55 \text{ ch},$$

la durée d'accélération sera

$$t_d = \frac{Q\,v^2}{(P_d - P_c)\,g \times 75} = \frac{35\,000 \times 2{,}5^2}{33 \times 736} = 9 \text{ s},$$

et le chemin parcouru pendant cette durée d'accélération sera

$$\frac{9 \times 2{,}5}{2} = 11{,}30 \text{ m};$$

Admettons que le temps de ralentissement soit de 6 secondes, correspondant à un chemin de 7,5 m; avec une vitesse normale $v = 2{,}5$ m:s, le chemin parcouru sera de

$$40 - (11{,}3 + 7{,}5) = 21{,}2 \text{ m};$$

le temps nécessaire au parcours sera

$$t_1 = \frac{21{,}2}{2{,}5} = 8{,}5 \text{ s}.$$

La durée d'une course est de $\frac{3600}{50} = 72$ s, et le facteur de marche

$$\frac{t_d + t_1}{T} = \frac{(9 + 8{,}5)}{72} = 24{,}3 \text{ pour } 100;$$

en prenant $h_d = 50$ mises en circuit par heure, on a pour la puissance à pleine charge à la fin du démarrage

$$P_{cd} = P_c \sqrt{\frac{t_d\, h_d \left[\left(\frac{P_d}{P_c}\right)^2 - 1\right]}{3\,600 \times \frac{(t_d + t_1)}{T}} + 1}$$

$$= 22 \times \sqrt{\frac{9 \times 50 \times 5{,}25}{3\,600 \times 0{,}243}} + 1 = 42{,}2 \text{ ch.}$$

donc

$$\frac{P_{cd}}{P_c} = 1{,}92,$$

c'est-à-dire l'augmentation de la puissance normale due à l'accélération est de 92 pour 100.

En rapportant P_{cd} à un facteur de marche de 25 pour 100, on obtient

$$P_{cd25} = 42{,}2 \times \sqrt{\frac{0{,}243}{0{,}25}} = 41{,}5 \text{ ch.}$$

V. **Méthodes de détermination de la puissance.** — Les puissances indiquées dans les catalogues des maisons de constructions électriques sont les puissances constantes pour un facteur de marche de 15, 25 et 40 pour 100, parmi lesquelles on choisit un type de moteur qui donne, par exemple, 41,5 ch pour un facteur de marche de 25 pour 100. Pour ce type, on doit alors encore vérifier si la puissance de démarrage de 55 ch est $= 1{,}5 \times P_{c25}$, ce qui est le cas dans notre

exemple. Notons que l'énergie électrique nécessaire pour l'accélération est deux fois plus grande que le travail correspondant à la force vive. L'accélération des masses mécaniques est représentée par un triangle et l'énergie électrique nécessaire, par un rectangle de surface double. Pendant l'accélération, le courant de démarrage atteint l'intensité maximum indépendamment de la vitesse.

Si on connaît le facteur de marche, la charge relative et le travail nécessaire au démarrage, on peut, pour chaque cas particulier, déterminer exactement la puissance d'un moteur pour service intermittent. Toutefois, si on choisit le moteur pour le service de 30, 45, 60 ou 90 minutes, c'est-à-dire pour un service temporaire, la méthode n'est pas applicable quoiqu'on l'utilise depuis de longues années pour le calcul des moteurs de pont roulant. Dans ce cas particulier, en effet, elle ne correspond nullement aux conditions réelles du service intermittent (1). S'il s'agit d'essayer un moteur pour service temporaire, par exemple 60 minutes, le moteur est mis en circuit pendant 60 minutes avec sa puissance normale; pendant cette durée de service, il atteint son échauffement limite. Après, le moteur doit rester arrêté pendant plusieurs heures (4 à 10 heures) avant qu'il ne se soit refroidi et que l'on puisse le remettre en service. Pour les ponts roulants, les monte-charge et pour d'autres machines servant au transport à courte distance, ce cas ne se présente pas. Pratiquement le régime de marche correspond aux conditions d'échauffement de la figure 1.

Les essais des moteurs pendant 30 à 90 minutes ne sont nullement un critérium pour leur adaptation aux services intermittents. En essayant un moteur pendant 30 à 90 minutes, c'est le pouvoir qu'il a d'absorber la chaleur qui est mis en évidence, et non celui de dissiper cette chaleur. Le pouvoir de dissipation de la chaleur dépend, en premier lieu, de la construction du moteur. Voilà pourquoi la courte durée de 30 minutes, par exemple, correspond à un facteur de marche plus grand pour un moteur ouvert que pour un moteur fermé. La figure 11 nous montre les puissances P_0 pour un type ouvert et les puissances P_b pour un type blindé, mesurées sur un moteur asynchrone triphasé pour pont roulant, qui fut employé une fois avec couvercles et l'autre fois, sans couvercles. Les puissances sont représentées à gauche de la figure 11 en fonction du facteur de marche, à droite en fonction du temps. Il en résulte que, pour 30 minutes, on a $P_0 = P_b$; mais pour un moteur fermé, la puissance développée en 30 minutes peut être fournie pour un facteur de marche de 18 pour 100 et pour un moteur ouvert, avec un facteur de marche de 29 pour 100. Pour un facteur de marche de 18 pour 100, le moteur ouvert fournit une puissance plus grande de 25 pour 100 que le moteur fermé. Le bobinage restant le même, on n'obtient pas une puissance plus grande pour le service de 30 minutes si on enlève les couvercles du moteur; pour un service intermittent durant une journée, par contre, on arrive à augmenter la puissance de 25 pour 100 environ. Ceci s'explique par le fait que la surface de refroidissement du moteur et, par suite, le pouvoir de

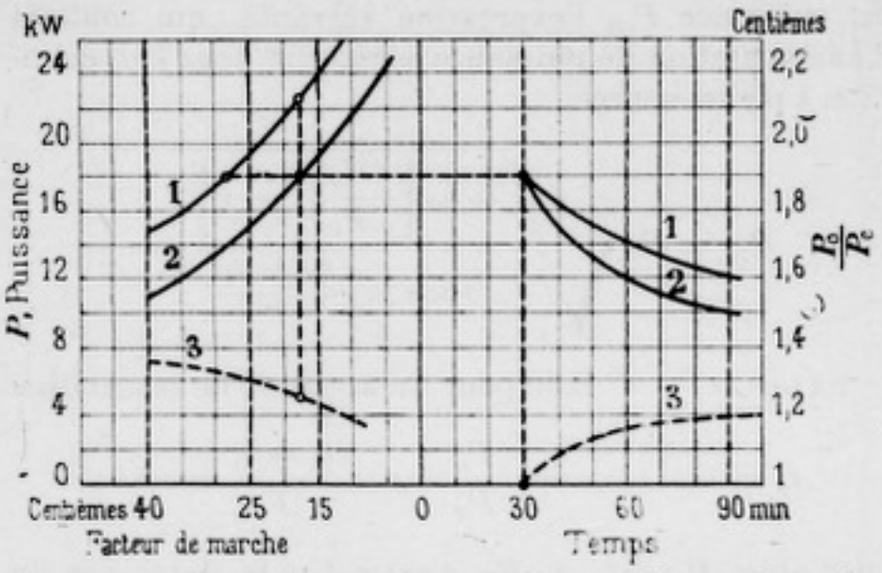


Fig. 11. — Courbes représentant les variations des puissances intermittentes et temporaires de deux moteurs asynchrones triphasés, l'un du type ouvert (courbes 1), l'autre du type blindé (courbe 2) en fonction des facteurs de marche, à gauche, et en fonction du temps, à droite. Les courbes 3 représentent les variations du rapport des puissances P_0 du moteur ouvert et P_c du moteur blindé.

dissipation de la chaleur sont augmentés si les couvercles sont enlevés; on ne constate pas cette augmentation lors d'un service temporaire, mais seulement lors d'un service intermittent durant plusieurs heures.

La façon dont le moteur se comporte en service intermittent dépend, en outre, de la grandeur du modèle. Le plus petit moteur d'une série de modèles dissipe mieux la chaleur que le plus grand, parce que la surface de refroidissement du petit moteur est plus grande par rapport au volume que celle du moteur de plus grandes dimensions. Sur la figure 12 sont tracées les courbes des puissances intermittentes et temporaires des moteurs blindés pour pont roulant; la puissance pour 60 minutes correspond à un facteur de marche de 26 pour 100 pour le plus petit modèle.

Il est encore intéressant de noter que le moteur blindé à courant continu se refroidit moins favorablement que le moteur asynchrone triphasé. Dans le premier, la plus grande partie de la chaleur est produite dans l'induit qui n'est pas en communication avec l'air ambiant; dans le second par contre, elle est produite dans la carcasse, laquelle dissipe la chaleur directement dans l'air ambiant. C'est ainsi, par exemple, qu'un facteur de marche de 25 pour 100 correspond au régime unihoraire pour le moteur à courant continu blindé d'un certain modèle, et à un régime de 45 minutes pour un moteur asynchrone d'un modèle analogue.

Pour des puissances temporaires égales, le moteur asynchrone blindé peut être chargé davantage à régime intermittent que le moteur à courant continu blindé.

(1) C. Schiebeler. *Elektromotoren für aussetzenden Betrieb und Planung von Hebezeugantrieben*, édité par la librairie S. Hirzel, à Leipzig.

Les moteurs sont essayés à la plate-forme avec la puissance constante pendant 1,5 minute pour un facteur de marche de 15 pour 100, 2,5 minutes pour un facteur de marche de 25 pour 100 et pendant 4 minutes pour un facteur de marche de 40 pour 100.

Pour simplifier les essais, en Allemagne, on a choisi

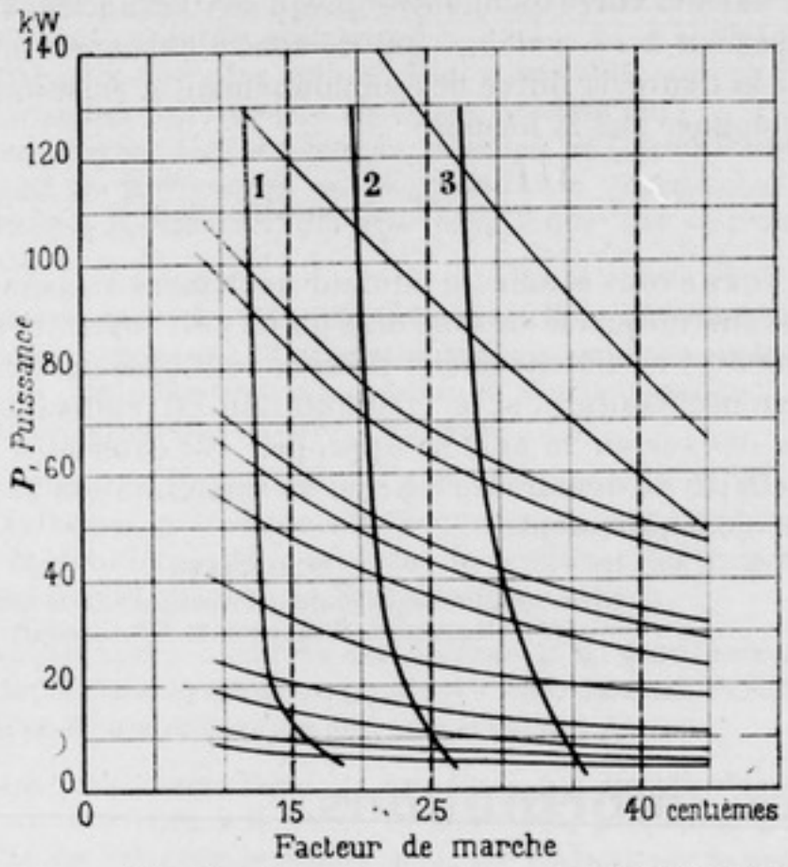


Fig. 12. — Courbes des puissances en service intermittent (traits fins) en fonction des facteurs de marche, et en service temporaire (traits forts) de moteurs série à courant continu du type blindé pour pont roulant : 1, pour un service de 30 mn ; 2, pour un service de 60 mn ; 3, pour un service de 90 mn.

une durée totale de travail égale à 10 minutes, supérieure à celle qu'on rencontre généralement en pratique.

Pour une succession régulière de durées analogues, la puissance indiquée dans les catalogues (puissance intermittente) doit pouvoir être fournie aussi longtemps qu'on veut, pourvu que le facteur de marche soit celui qui est prescrit ; la température et l'échauffement ne doivent pas dépasser la valeur limite.

Dans le cas où la durée de fonctionnement et la durée d'arrêt sont réparties irrégulièrement, on considère comme facteur de marche le rapport de la somme des durées de fonctionnement à la somme des durées totales pour périodes de travail de 8 heures au maximum.

Le service temporaire est rare ; le chariot de mise à sec d'un chantier naval constitue un exemple caractéristique. Il y a encore d'autres mécanismes pour lesquels les durées de repos par rapport aux durées de marche sont tellement longues qu'on peut parler plutôt d'un service temporaire que d'un service intermittent. Le nombre de mises en circuit du moteur par heure permet de déterminer la méthode à appliquer pour le calcul de la puissance du moteur. Si le nombre de mises en circuit par heure est plus petit que 1, on applique pour le choix du moteur la méthode convenant au service temporaire ; dans le cas où le nombre de mises en marche est plus grand que 1, c'est la méthode convenant au service intermittent qui est appliquée. Pour déterminer la puissance du moteur, on a porté sur la figure 13 les valeurs $10 \times N$ comme

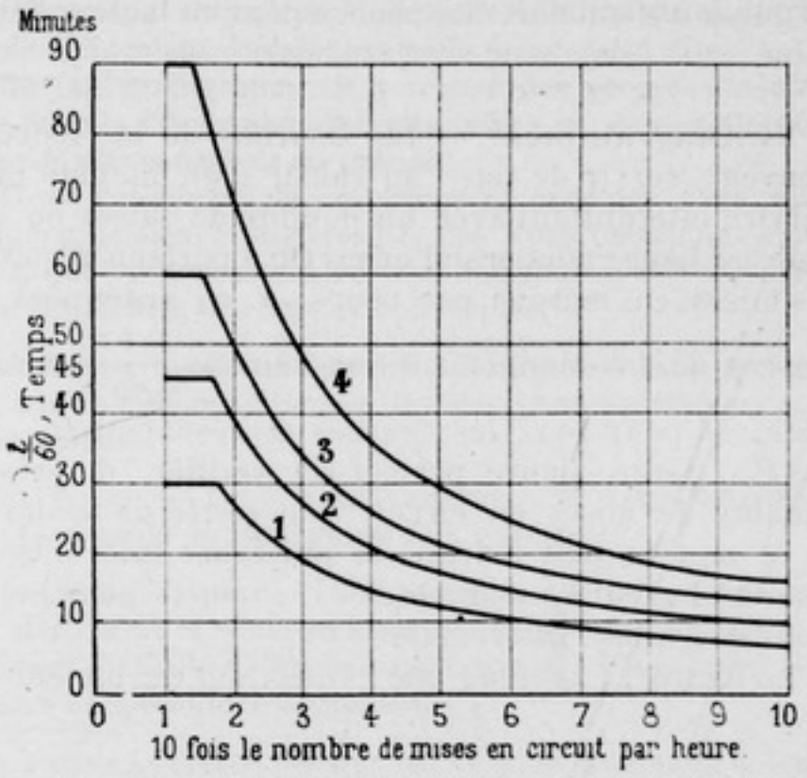


Fig. 13. — Courbes représentant la variation de la plus longue durée de fonctionnement admissible en fonction du nombre de mises en circuit par heure pour services temporaires : 1, de 30 mn ; 2, de 45 mn ; 3, de 60 mn ; 4, de 90 mn.

abscisses, N étant le nombre de mises en circuit par heure. En ordonnées on a porté la plus longue durée de service admissible, en minutes, $\frac{t}{60}$, pour les valeurs

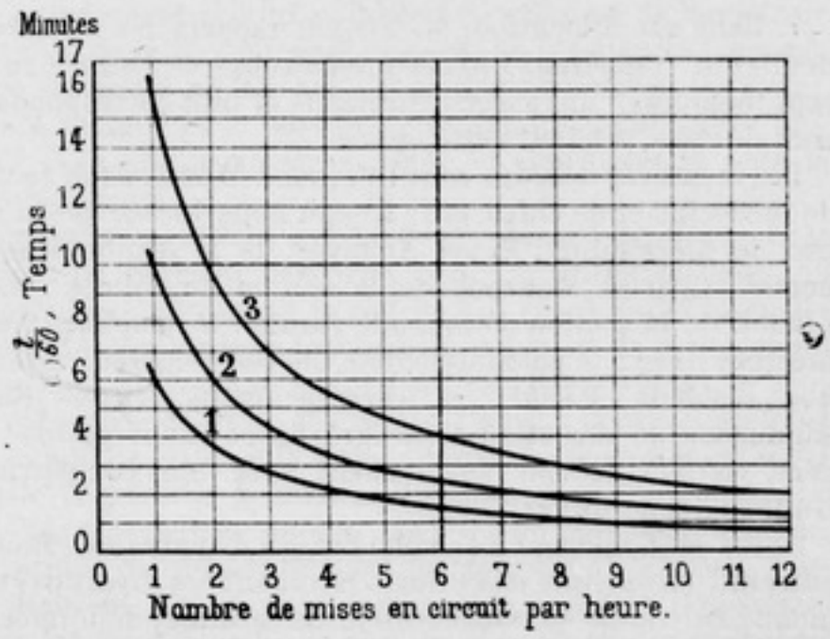


Fig. 14. — Courbes représentant la variation de la plus longue durée de fonctionnement admissible d'un moteur pour service intermittent en fonction du nombre N de mises en circuit par heure, la puissance développée correspondant : 1, à un facteur de marche de 0,15 ; 2, à un facteur de marche de 0,25 ; 3, à un facteur de marche de 0,40.

normales de 30, 45, 60 et 90 minutes. D'après cette figure, pour quatre mises en marche en 10 heures, la

durée de marche du moteur pourra être de 15 minutes à la puissance pour 30 minutes, P_{30}, de 26 minutes à la puissance pour 60 minutes, P_{60}, et de 37 minutes à puissance pour 90 minutes, P_{90}. Cette figure permet de trouver pour toutes les valeurs et durées de charge la puissance qui doit être choisie pour un moteur déterminé.

VI. **Diagrammes**. — Les courbes de la figure 14 peuvent servir de base au calcul d'un moteur pour service intermittent avec un nombre de mises en circuit par heure plus grand que 1. On a porté en abscisses les mises en marche par heure, N, en ordonnées les durées de fonctionnement, en minutes, $\frac{t}{60}$, pour 15, 25 et 40 pour 100 ; les courbes représentent P_{15}, P_{25} et P_{40}. Cette figure permet de vérifier, d'après le nombre de mises en circuit et la durée de celles-ci, si le moteur doit fournir sa puissance intermittente pour un facteur de marche de 15, 25 ou 40 pour 100 ou pour une valeur intermédiaire.

La figure 14 indique que l'utilisation du moteur est d'autant moins bonne que le nombre de mises en circuit par heure est petit. Ceci est basé sur le fait que la durée d'une période de travail T est plus grande que 10 minutes et que, par conséquent, la durée de travail est ainsi augmentée.

Si N est supérieur à 6, on peut relever sur le diagramme les valeurs correspondantes jusqu'à $N = 12$. Si N est supérieur à 12, valeurs qui ne sont plus représentées sur la figure, la durée de fonctionnement t_s en secondes est donnée par la formule

$$t_s = \frac{3600}{N} \times \frac{t}{T}, \text{ en secondes.}$$

Nous avons étudié le moteur seulement au point de vue thermique. Il va sans dire qu'on doit contrôler également si le moteur choisi possède le couple de démarrage nécessaire et si la commutation est suffisante. Il y a des cas où le modèle approprié est déterminé par le couple de démarrage ou par la commutation et non par l'échauffement.

C. Schiebeler,
Directeur du département des appareils de levage,
à l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft.

Revues, analyses et informations

Les prix de l'Académie des Sciences.

Dans sa séance publique annuelle du lundi 16 décembre 1929, l'Académie des Sciences a procédé à la proclamation des prix et subventions accordés en 1929. Suivant l'usage, cette proclamation fut précédée d'une allocution du président en exercice, M. Louis Mangin.

1. Dans son allocution, M. Mangin rappela les nombreux deuils qui frappèrent l'Académie au cours de l'année 1929 : sept membres, un associé étranger et huit correspondants sont décédés pendant cette année.

Les membres décédés sont : Fernand Widal, de la section de médecine et de chirurgie ; Joseph Boussinesq, de la section de mécanique ; Henri Andoyer, de la section d'astronomie ; Charles Moureu, de la section de chimie ; Léon Lindet, de la section d'économie rurale ; le maréchal Foch, membre libre ; le paléontologiste Charles Depéret, membre non résidant. Parmi les correspondants, citons Roald Amundsen, de la section de géographie et de navigation, qui périt victime de son dévouement avec nos compatriotes Guilbaud et de Cuverville.

Après cet hommage à la mémoire des disparus, M. Mangin entretint l'Académie des efforts faits dans les divers pays du monde en vue de la conservation de certains monuments : paysages, forêts, territoires de chasse, sites géologiques, etc., que les conditions actuelles de l'exploitation des richesses naturelles menacent de destruction. Il rappelle en premier lieu l'initiative prise par les Etats-Unis dès 1872 et qui aboutit à la création d'une vingtaine de parcs nationaux dont les plus connus sont les parcs de Yellowstone dans le Wyoming, des Montagnes-Rocheuses dans le Colorado, du Grand-Canyon dans l'Arizona. Il signale ensuite que l'exemple des Etats-Unis a été bientôt suivi par le Canada, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, l'Angleterre, la Suisse, l'Italie, etc., puis il indique les mesures qui sont prises en France et dans nos colonies pour la protection des richesses naturelles.

2. Parmi les prix décernés, nous signalerons les suivants :

Prix Poncelet. — Ce prix est attribué à notre collaborateur M. Alfred Liénard, directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines, pour ses travaux sur l'application des théories générales de la mécanique aux problèmes d'électrostatique, d'électrodynamique et de magnétisme.

Fondation Henry Bazin. — Ce prix est décerné à M. Charles Camichel, directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse, pour son procédé expérimental d'étude des tourbillons dans les liquides à l'aide de particules métalliques en suspension, procédé que l'auteur a décrit dans cette revue.

Prix Valz. — M. Louis Dunoyer, physicien à l'Observatoire de Meudon, reçoit ce prix pour ses recherches sur les niveaux à bulle d'air et les cellules photoélectriques.

Prix Gaston Planté. — Ce prix est attribué à M. Charles Féry, professeur honoraire à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris pour les perfectionnements qu'il a apportés aux accumulateurs. M. Paul Janet, rapporteur de la commission chargée de décerner ce prix, s'exprime comme il suit sur les travaux de M. Ch. Féry, qui, tout récemment encore, ont été l'objet d'articles publiés dans ces colonnes.

« M. Charles Féry a, depuis plus de dix ans, consacré tous ses efforts au perfectionnement de la théorie des accumulateurs au plomb. La théorie de la double sulfatation, jusqu'alors classique, ne rend pas compte de toutes les particularités que l'on peut observer dans la charge et la décharge

des éléments. M. Charles Féry a montré qu'il fallait faire intervenir deux composés nouveaux, le sulfate plombeux SO^4Pb^2 qui prend naissance à la négative et un peroxyde noir de plomb Pb^2O^5 qui constitue la matière positive chargée. Les composés, prévus par M. Féry, ont été récemment isolés par M. Rollet.

» Cette théorie a conduit M. Féry à des conséquences importantes au point de vue pratique pour éviter l'accident connu sous le nom de sulfatation.

» Rappelons de plus que M. Féry a construit une pile à dépolarisation par l'air très répandue aujourd'hui.

» Ces progrès, réalisés dans un domaine où Gaston Planté avait été un précurseur, ont engagé votre commission à attribuer à M. Charles Féry le prix fondé par ce grand inventeur. »

Prix Hébert. — Le prix Hébert est attribué à M. Georges Déjardin, professeur à l'Université de Lyon, pour ses recherches sur les potentiels d'ionisation et sur la classification des lignes spectrales de divers atomes.

Prix Henri de Parville. — Ce prix est décerné à M. Marcel Pauthenier, professeur à la Faculté des Sciences de Lille, pour la solution qu'il a trouvée du problème des retards absolus dans le phénomène électrooptique de Kerr.

Prix Hughes. — Ce prix est décerné à M. Jean-Jacques Trillat, docteur ès sciences, pour ses recherches sur l'orientation moléculaire faite au moyen des rayons X.

Fondation Clément Félix. — Les arrérages de cette fondation sont attribués à M. René de Malleman, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, pour ses travaux sur la polarisation magnétique rotatoire.

Médaille Henri Poincaré. — Elle est décernée à M. Louis de Broglie, maitre de conférences à l'Institut Henri Poincaré, pour ses travaux sur la mécanique ondulatoire.

Grand Prix des Sciences physiques. — Ce prix est décerné à M. René Dubrisay, directeur des Manufactures de l'Etat et professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, qui a orienté toutes ses recherches scientifiques vers la chimie physique.

« Il a étudié, écrit M. Le Chatelier dans son rapport concernant ce prix, la décomposition par l'eau des sels halogénés de bismuth et a apporté à cette occasion quelques vues théoriques nouvelles au sujet des équilibres dans les solutions.

» Au cours des recherches sur la miscibilité des systèmes liquides, il a institué une nouvelle méthode de volumétrie physico chimique, qui lui a permis de distinguer les différentes fonctions acides d'un corps donné, l'acide phosphorique, par exemple, et de démontrer l'existence réelle de certains sels doubles dans leurs dissolutions.

» Les plus importants de ses travaux se rapportent à la chimie capillaire et aux colloïdes. La tension superficielle à la surface de séparation de l'eau et d'une solution d'acide gras dans un liquide non miscible à l'eau est abaissée dans des proportions considérables par les plus faibles traces d'alcalis en solution dans l'eau. En partant de cette propriété, il a institué de nouvelles méthodes d'analyse physico-chimique, qui lui ont permis d'aborder de nombreux problèmes. Il a déterminé ainsi les courbes complètes de neutralisation de certains acides et mis en évidence les fonctions multiples des acides chromique, periodique et phosphorique. Il a comparé de même la force relative des divers acides gras et étudié l'influence de la température. Enfin, il a étendu l'application de ces méthodes à l'étude d'un certain nombre de problèmes industriels, tels que l'altération des verres, l'acidimétrie des vins, etc.

» Il poursuit actuellement d'importantes recherches sur les phénomènes d'absorption par les colloïdes. Il a montré, contrairement à une opinion bien établie, que la chaux pouvait, à une concentration suffisamment faible, jouer le rôle de défloculent comme les alcalis proprement dits.

» En tant qu'ingénieur, il a réalisé des progrès intéressants dans la fabrication des allumettes et dans celle des explosifs nitrés dérivés du phénol.

» C'est l'ensemble de ces travaux, exécutés avec une grande précision et inspirés par des vues théoriques nouvelles, que votre commission vous demande de récompenser par le Grand Prix des Sciences physiques. »

Prix Bordin. — Il est décerné à M. Henri Bénard, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, pour ses travaux sur les tourbillons.

Prix Wilde. — Ce prix est décerné à M. Léon Brillouin pour l'ensemble de ses travaux de physique.

Fondation Trémont. — Les arrérages de cette fondation sont attribués à M. Charles Frémont, ancien chef de travaux pratiques à l'Ecole nationale supérieure des Mines, pour ses travaux de mécanique appliquée.

Fondation Loutreuil. — Sur les vingt et une subventions accordées formant un total de 128 000 fr, une subvention de 8 000 fr est attribuée à la bibliothèque de l'Ecole supérieure d'Electricité pour l'acquisition du traité de physique du professeur Wien (35 volumes); une autre, de 5 000 fr, à la bibliothèque de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

Note sur l'amplificateur à grande résistance de grille (1).

Mulder et Razek ont montré récemment que la conductance mutuelle effective d'une lampe à trois électrodes peut être grandement accrue en faisant fonctionner la lampe sur un circuit de grille contenant une grande résistance. Leur méthode de calcul ne fait pas apparaître clairement les conditions à remplir pour obtenir cette grande conductance mutuelle sans une partie discontinue et non réversible de la caractéristique.

Lorsqu'on maintient constants le potentiel de plaque et le courant de filament dans une lampe à trois électrodes, on connait bien la forme de la courbe qui représente l'intensité du courant de plaque en fonction du potentiel de grille, et qui comporte une portion rapidement ascendante dans le sens des potentiels de grille croissants. Quant à la caractéristique du courant de grille, elle a une allure plus compliquée, parce qu'elle représente la marche résultante de trois courants. Pour les très petites valeurs absolues du potentiel de grille, le courant est principalement un courant d'électrons issus du filament. Ce courant tombe bien entendu rapidement lorsqu'on rend la grille de plus en plus négative par rapport au filament. Mais il y a, d'autre part, le courant de fuite à la base du tube et autres parties externes. Ce courant est d'ordinaire négligeable si les surfaces sont propres et que le tube est maintenu dans une atmosphère sèche. Mais ce courant de fuite croît à mesure que le potentiel négatif de la grille croît en valeur absolue. La troisième et la plus importante composante dépend de la présence de gaz dans le tube.

(1) W.-B. Nottingham. *Journal of the Franklin Institute*, octobre 1929, t. ccviii, p. 469-474, 1 600 mots, 4 figures.

Le courant d'ions positifs à la grille décroit à mesure que la valeur absolue de son potentiel négatif croit parce que le nombre d'ions positifs décroit avec le nombre d'électrons se rendant du filament à la plaque. En définitive, à mesure que le potentiel de grille diminue à partir de zéro, le courant de grille diminue rapidement, devient nul, change de signe, passe par un minimum algébrique, qui est un maximum en valeur absolue, puis revient progressivement à la valeur zéro. Un peu au delà du minimum se présente donc un point d'inflexion et c'est à son niveau que la caractéristique de grille présente tout son intérêt. On peut dans cette région, représenter la caractéristique par l'équation

$$i_g = - i_o - mE, \qquad (1)$$

où i_0 est une constante, m, une autre constante (pente de la courbe au point d'inflexion), i_g, le courant de grille et E; le potentiel de grille.

La partie correspondante de la caractéristique de plaque peut aussi être représentée par une droite

$$I = I_o + gE, \qquad (2)$$

où I_0 est une constante, g, une autre constante (conductance mutuelle, ou pente de la courbe en son point d'inflexion), I, l'intensité du courant de plaque et E, le potentiel de grille.

Si, d'autre part le circuit de grille comporte un générateur de force électromotrice V, dont le pôle positif est connecté au filament, et par conséquent le pôle négatif à la grille, par l'intermédiaire d'une résistance R, on pourra écrire

$$Ri_g = V - E \qquad (3)$$

En combinant (1), (2) et (3) l'on obtient

$$I = I_o - \frac{gRi_o}{1 - mR} + \frac{g}{1 - mR} V, \qquad (4)$$

qui exprime la relation entre le courant de plaque et la force électromotrice V de la batterie auxiliaire. De cette équation nous tirons

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{g}{1 - mR}, \qquad (5)$$

ce qui montre que la conductance mutuelle effective

$$g' = \frac{g}{1 - mR} \qquad (6)$$

peut être rendue très grande si l'on pose, à la limite

$$R = \frac{1}{m}. \qquad (7)$$

Il est clair que, si l'on veut tirer parti de cette grande conductance mutuelle effective, des conditions précises doivent être remplies en ce qui concerne les batteries de filament, de plaque et de grille; le tube doit d'autre part être construit de telle sorte que la quantité et la nature du gaz qui y est contenu ne varie pas avec le temps. Il semble que l'on puisse y parvenir en chassant à fond les gaz actifs et introduisant une trace d'un gaz inerte, argon ou autre.

L'auteur envisage ensuite deux applications du dispositif, l'amplification de la force électromotrice d'un thermocouple et celle du courant produit par une cellule photoélectrique. — L. B.

La théorie de l'absorption et les pertes dans les diélectriques (1).

En dépit de nombreux travaux théoriques et expérimentaux, le phénomène désigné sous le nom de « pertes diélectriques » ne nous apparait pas encore comme une notion claire du fait que les pertes diélectriques sont les conséquences d'anomalies dans la constitution physique du diélectrique; ces pertes dépendent, à la fois, du volume du diélectrique et des phénomènes électriques particuliers à chacun de ses éléments.

L'auteur rappelle succinctement les théories élaborées sur la question, en insistant particulièrement sur celle de Maxwell et sur celle de Karapetoff. Il fait observer que les formules qui découlent de ces deux théories ne sont pas applicables, en général, au phénomène réel en raison, selon l'auteur, de l'impossibilité où l'on est de représenter la fonction du temps $\varphi(t)$ par une loi exponentielle simple, car même si cette loi est vraie dans chacun des éléments du diélectrique, pris séparément, elle ne peut plus l'être pour le phénomène complexe résultant. Il serait donc peut-être plus fructueux, au lieu de partir des manifestations physiques pour établir une formule, d'aborder le phénomène en choisissant une fonction commode et de déterminer ensuite ses paramètres d'après les résultats des expériences.

Dans ce cas on pourra parler en général d'influences perturbatrices provoquant des phénomènes anormaux, en entendant par influences perturbatrices soit des particularités de la conductibilité ionique, soit l'irrégularité de la distribution du gradient du champ électrique, etc.

L'auteur expose ses recherches dans cette voie. Ayant relevé avec une exactitude suffisante les courbes représentant la charge et la décharge du diélectrique en fonction du temps, en employant les formules données par Maxwell ou Karapetoff il a pu déterminer la fonction qui donne la distribution de la charge dans le diélectrique et, comme, d'après ce qui a été dit plus haut, cette fonction rend compte de toutes les anomalies du diélectrique, il a obtenu une caractéristique pour chaque diélectrique. Toutes les expériences ont été exécutées sur des câbles à haute tension, à conducteur unique, isolés au papier imprégné. Les courbes étaient relevées à l'aide d'un galvanomètre sensible à une intensité de courant de $0{,}8 \times 10^{-9}$ A avec une tension de 200 à 300 V. La différence des ordonnées des courbes de charge et de décharge est constante pour les bons diélectriques et représente le courant de conduction; pour les diélectriques de qualité inférieure, cette différence décroit avec le temps ce qui correspond à la décharge du diélectrique sur lui-même.

D'autre part, plus cette différence est grande, plus grande est la pente de la courbe $\mathrm{tg}\delta = \mathrm{f}(V)$, qui donne l'angle de perte en fonction de la tension. L'auteur a déduit de ces deux courbes toutes les particularités d'un diélectrique et toutes ont été confirmées par l'expérience. Cependant pour déduire de ces courbes les pertes dans le diélectrique en fonction du courant il aurait fallu relever les points de la courbe à des intervalles de temps beaucoup plus courts, de l'ordre du centième de seconde.

L'auteur se propose de continuer ses expériences et, pour vérifier complètement sa théorie, d'étudier un type de diélectrique tout à fait différent des isolants utilisés dans les câbles, par exemple le verre. — I. F.

(1) S.-M Braguine. *Elektritchestvo*, septembre 1929, n° 17-18, p. 440-443, 2 000 mots, 5 figures, 1 tableau.

SECTION INDUSTRIELLE

Un nouveau moteur asynchrone compensé (*Suite et fin*) (*)

IV. **Remarques sur le fonctionnement et les applications du nouveau moteur asynchrone compensé.** — 1. Réglage de vitesse avec ce moteur. — Ce qui précède ne serait pas vrai pour des moteurs à réglage de vitesse pour lesquels la tension au collecteur est forcément élevée. Pour de tels moteurs, l'augmentation du nombre de pôles du collecteur est inadmissible ; il faudrait adopter des champs tournant dans le même sens. Le nombre d'ampères-tours et le flux d'excitation seraient alors augmentés :

1° A cause de la diminution de la vitesse relative du rotor et du champ d'excitation ;

2° A cause de l'augmentation de la puissance d'excitation qui est bien plus grande pour le réglage de vitesse que pour le réglage de facteur de puissance ; ainsi, si l'on veut régler la vitesse de n pour 100 de la vitesse normale, la puissance d'excitation est de n pour 100 de celle du moteur asynchrone ; pour un réglage de vitesse, on demande en général $n = 10$ à 50 pour 100, tandis que pour un réglage de facteur de puissance 2 à 5 pour 100 suffisent le plus souvent.

La première de ces causes multiplie la puissance d'excitation par 2 ou 3, comme nous l'avons vu en étudiant les vitesses relatives avec champ d'excitation tournant ou non, dans le sens du champ principal et la seconde, par 2 à 25.

On voit donc qu'en passant du moteur compensé au moteur à réglage de vitesse, il faut multiplier en définitive le produit du flux par les ampères-tours d'excitation par le produit des deux facteurs précédents, soit par 4 à 75, ce qui conduirait à un encombrement inadmissible du bobinage d'excitation dans les encoches et à une réduction également inacceptable du flux principal, le flux d'excitation prenant trop d'importance. L'utilisation de la matière deviendrait rapidement très mauvaise et il serait de beaucoup préférable de séparer le moteur principal et son excitatrice.

L'emploi des excitatrices Leblanc ou Boucherot à nombre de pôles réduit séparées du moteur principal est assez intéressant pour le réglage de vitesse, puisque la réduction du nombre de pôles permet l'augmentation commode du nombre de lames par pôle au collecteur. M. Latour a d'ailleurs proposé d'employer ces excitatrices à cet usage (1). Il a même prévu, pour des moteurs à réglage de vitesse, la combinaison possible dans un seul circuit magnétique d'une excitatrice à *nombre de pôles réduit, avec connexions au collecteur inversées*, et du moteur principal dans son brevet n° 436266 du 18 janvier 1911 (pris au nom des Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est), page 3, lignes 40 à 51, sans insister sur cette idée qu'il avait sans doute lui-même reconnue sans intérêt, comme nous venons de l'expliquer. Le moteur que nous décrivons ici est donc essentiellement un moteur compensé et serait un très mauvais moteur à réglage de vitesse.

2. Changement de marche. — En cas de changement de marche, il faut, en principe, décaler les balais sur le collecteur d'un angle égal à π pour que le courant reste magnétisant pour le rotor principal dans les deux sens de marche ; sans décalage, il serait magnétisant dans un sens, et démagnétisant dans l'autre, puisque pour un sens il serait déphasé en avant et pour l'autre, en arrière.

Il est possible d'éviter cette sujétion en décalant de π le champ d'excitation par rapport au champ principal. Pour cela, si l'on adopte un bobinage d'excitation séparé du bobinage auxiliaire, il suffit d'intervertir les deux extrémités de chaque phase du bobinage d'excitation (ou du bobinage auxiliaire).

3. Couplage étoile-triangle. — Ce couplage ne présente aucune difficulté puisqu'il se fait sur le stator. Il y aurait cependant une impossibilité pour les moteurs bipolaires avec flux d'excitation à 6 pôles si l'on se servait du couplage en étoile pour éliminer l'induction mutuelle ; mais nous avons vu que l'on peut aussi éliminer cette induction mutuelle en raccourcissant le pas d'un tiers sur le bobinage bipolaire, et le couplage étoile-triangle est alors possible comme sur un moteur ordinaire.

Dans le cas où le bobinage d'excitation serait connecté sur des prises auxiliaires, à tension réduite, il y aurait aussi une difficulté, puisque la tension entre prises différerait suivant le couplage. Avec le bobinage d'excitation combiné cette difficulté disparaît.

4. Circuits en parallèle. — Sur un tel moteur on ne peut pas mettre des circuits en parallèle sans précautions, car dans certains cas on formerait des circuits en court-circuit pour le flux d'excitation ; la suppression de l'induction mutuelle ne serait pas réalisée. Il

(*) *Revue générale de l'Électricité*, 4 janvier 1930, t. XXVII, p. 15-26.

(1) Marius Latour. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, juin 1918, t. VIII (3e série), p. 253 et *Revue générale de l'Electricité*, 31 août 1918, t. IV, p. 295-296.

est à remarquer que l'on peut toujours mettre au moins deux circuits en parallèle, ces circuits étant composés respectivement des bobines diamétralement opposées.

En effet, considérons un circuit du bobinage statorique principal ; le flux d'excitation n'y induit aucune

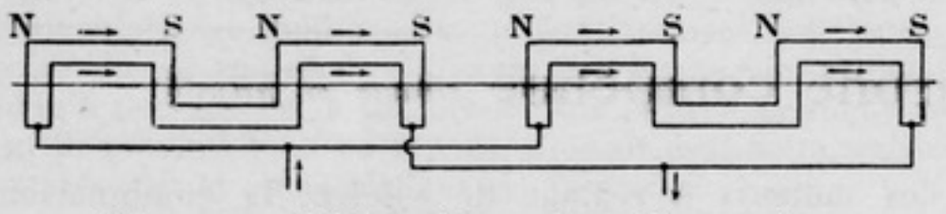


Fig. 20. — Schéma d'une phase d'un moteur à 8 pôles à 4 circuits en parallèle.

force électromotrice, si ce circuit est constitué suivant les règles que nous avons indiquées pour éviter l'induction mutuelle. Considérons maintenant un deuxième circuit du bobinage statorique principal, composé de

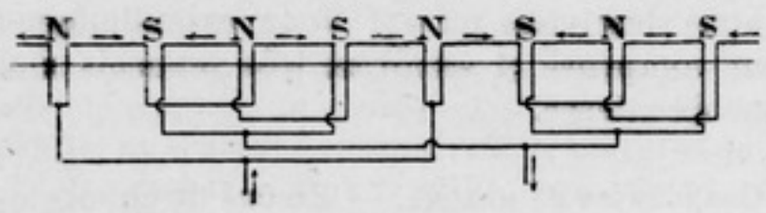


Fig. 21. — Autre solution du schéma représenté sur la figure 20.

bobines diamétralement opposées aux précédentes ; en deux points diamétralement opposés, le flux d'excitation a des valeurs soit égales, soit égales et de signes contraires ; il en résulte que la force électromotrice induite par le flux d'excitation dans le deuxième circuit est égale ou égale et opposée à celle induite dans le premier circuit ; comme celle-ci était nulle, celle-là l'est aussi ; la règle de l'induction mutuelle nulle est donc satisfaite.

Un examen attentif de la question permet de se rendre compte que sur les moteurs à 2, 4 et 6 pôles, on ne peut effectivement mettre que deux circuits en parallèle.

Sur les moteurs à 8 pôles, on peut en mettre quatre en parallèle, en mettant en parallèle des circuits composés de bobines à pas allongés et d'autres composés de bobines à pas raccourcis de la même quantité (fig. 20) ou, ce qui revient au même, des circuits symétriquement placés en face des pôles de noms contraires (fig. 21). Pour réaliser ces schémas, le nombre des encoches devra être multiple de 48.

Un moteur à 12 pôles étant composé de 2 moteurs à 6 pôles juxtaposés, on pourra coupler en parallèle deux bobinages sur chacun de ces deux moteurs à 6 pôles et avoir ainsi quatre circuits en parallèle.

Pour de gros moteurs à basse tension, l'impossibilité de mettre autant de circuits en parallèle que sur les moteurs ordinaires constituerait une difficulté ; mais, pour des gros moteurs, la puissance d'excitation étant généralement faible, on peut réduire la vitesse relative du rotor et du champ d'excitation, sans augmenter de façon sensible les dimensions de la machine.

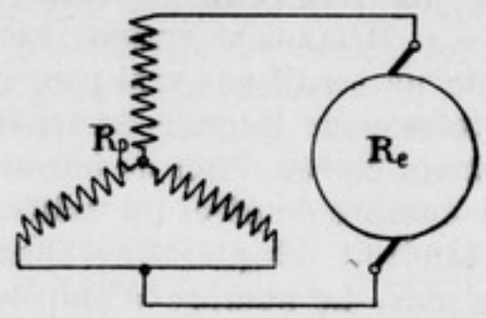


Fig. 22. — Montage du rotor du nouveau moteur compensé en moteur asynchrone synchronisé.

Dans ces conditions, on pourra constituer un moteur à 2 p pôles par p moteurs à 2 pôles juxtaposés ; le flux d'excitation sera alors à 6 p pôles ; comme le moteur à 2 pôles peut avoir deux circuits en parallèle comme un moteur ordinaire, on pourra disposer sur un moteur à 2 p pôles 2 p circuits en parallèle. Des combinaisons intermédiaires sont, bien entendu, possibles ; ainsi, on pourra constituer un moteur à 12 pôles par 3 moteurs

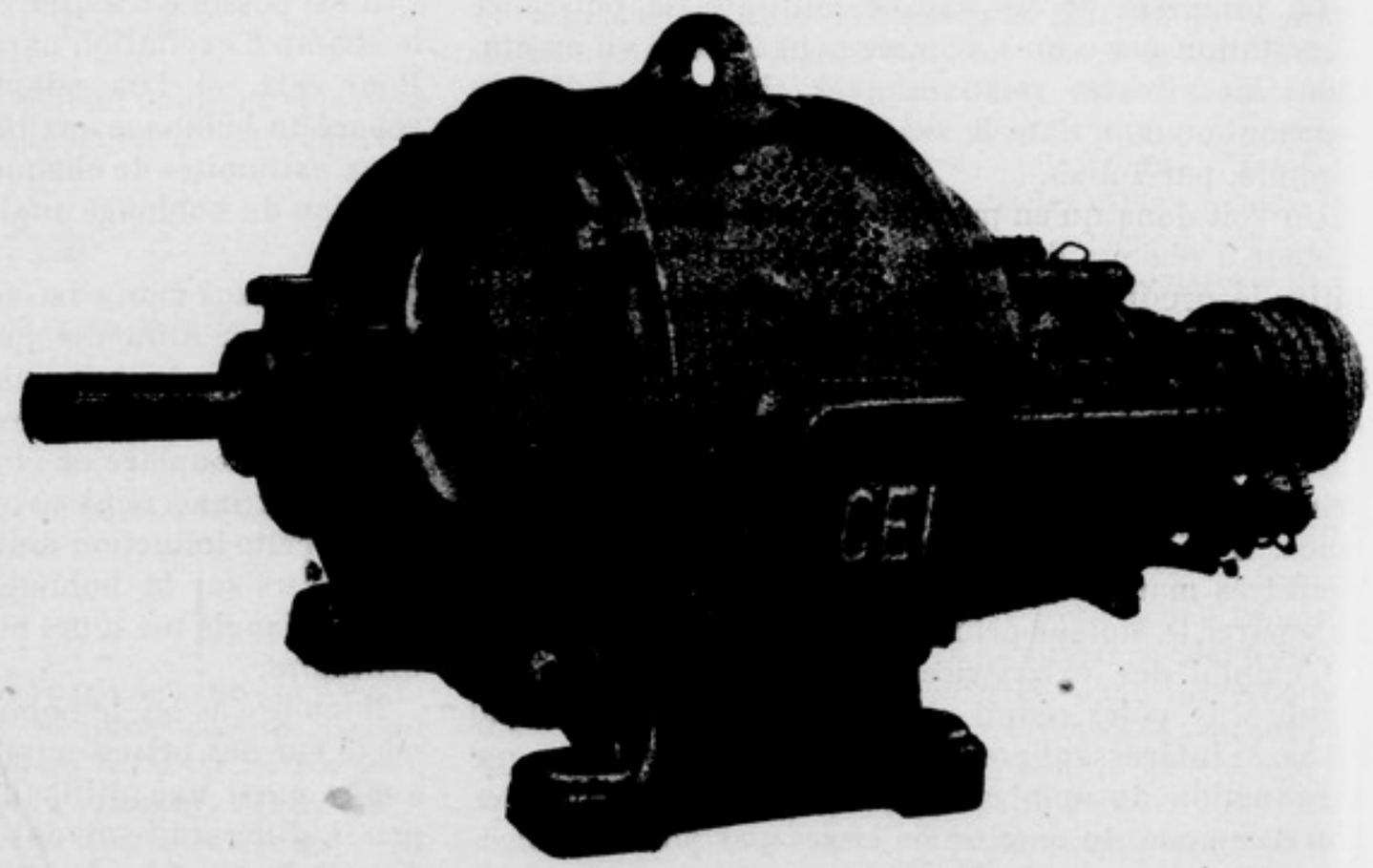


Fig. 23. — Vue d'un moteur asynchrone compensé de 18 ch, 4 pôles, 1 500 t : mn, système de Pistoye, construit par la Compagnie Electro-Industrielle.

à 4 pôles juxtaposés et obtenir ainsi $3 \times 2 = 6$ circuits en parallèle.

5. Emplois divers de cette machine. — L'expérience

démontre qu'une telle machine peut fonctionner en moteur asynchrone monophasé compensé. On peut obtenir le fonctionnement en moteur asynchrone synchronisé en ne prévoyant que deux jeux de balais sur le collecteur et en mettant deux des bagues du bobinage principal en court-circuit suivant le montage classique (fig. 22).

Enfin, bien entendu, le fonctionnement en génératrice est possible, aussi bien qu'en moteur.

6. Réalisations. — Des machines de ce système à 4, 6 et 8 pôles de 10 à 60 chevaux sont en service industriel, tant comme génératrices que comme moteurs (fig. 23). Elles ont permis de vérifier l'exactitude des théories développées dans cette étude.

ANNEXE I

Principe de l'excitatrice-convertisseur de fréquence de Boucherot (excitatrice sinusoïdale).

1. Notations. — Nous adopterons les mêmes notations que pour l'étude de l'excitatrice Leblanc.

2. Constitution de l'excitatrice. — Le stator de l'excitatrice porte un bobinage normal à $2\,p_e$ pôles. Le rotor porte deux bobinages, l'un appelé « bobinage sinus », l'autre « bobinage cosinus ». Chacun d'eux est constitué de la manière suivante : les sections élémentaires sont à pas constant, ce pas pouvant être soit diamétral, soit raccourci, sans rien changer au principe du système ; dans le cas où le pas est diamétral, il est donc égal à $\frac{1}{2p_e}$ de la périphérie du rotor de l'excitatrice. Les sections consécutives ont un nombre de spires variable suivant une loi sinusoïdale dont la période est égale à $\frac{1}{p_p}$ de la périphérie de l'excitatrice, c'est-à-dire que deux sections distantes de $\frac{1}{p_p}$ de la périphérie du rotor de l'excitatrice ont le même nombre de spires. Les nombres de spires négatifs sont obtenus simplement en inversant l'entrée et la sortie de la section.

Les deux bobinages « sinus » et « cosinus » sont décalés l'un par rapport à l'autre, de telle façon qu'un nœud de l'un et un ventre de l'autre soient distants d'un demi-pas polaire dans le champ à $2\,p_e$ pôles de l'excitatrice (fig. 24). Dans tout ce qui suit, $2\,\pi$ désigne la périphérie totale de l'excitatrice. Une section réunie à deux lames consécutives du collecteur est composée d'une section élémentaire « sinus » et d'une section élémentaire « cosinus » montées en série et distantes d'un demi-pas polaire dans le champ à $2\,p_e$ pôles. Les connexions au collecteur sont droites, comme dans une machine ordinaire; le nombre des lames est égal à celui des sections « sinus » ou « cosinus ».

3. Nombre de pôles du collecteur. — Les deux bobinages « sinus » et « cosinus » étant identiques peuvent intervertir leurs rôles. Pour la commodité du raisonnement, nous les distinguerons de la manière suivante : une section réunie à deux lames consécutives du collecteur étant composée de deux sections élémentaires A et B (fig. 25), nous appellerons section « sinus » la première section A de ces deux sections qu'un mobile se déplaçant dans le sens de rotation du champ rencontre à la périphérie du rotor, la seconde étant la section « cosinus ».

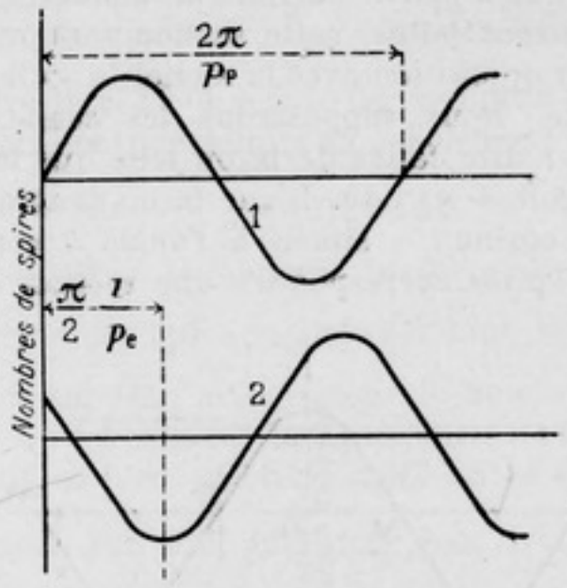


Fig. 24. — Diagramme de principe de répartition des bobinages « sinus » (1) et « cosinus » (2) de l'excitatrice Boucherot.

Nous prendrons pour origine des angles sur le rotor, le rayon correspondant à l'axe d'une section élémentaire « cosinus » ayant le nombre maximum de spires (point A, fig. 26). Soit n ce nombre maximum. Le nombre de spires d'une section « cosinus » dont la position de l'axe est définie par l'angle θ est $n \cos p_p \theta$.

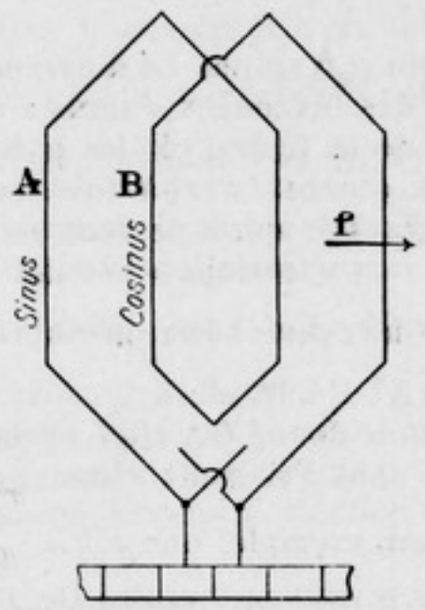


Fig. 25. — Constitution d'une section du bobinage de l'excitatrice Boucherot; la flèche f indique le sens de rotation du champ.

1° *Les connexions sont faites pour* $p_e = p_p - p_e$ *paires de pôles.* — D'après ce que nous avons dit, la section « sinus » dont l'axe est défini par l'angle $\theta = -\frac{\pi}{2}\frac{1}{p_e}$ aura un nombre de spires nul et sera réunie à la section « cosinus » dont l'axe est défini par

l'angle $\theta = 0$. En se déplaçant d'un angle $d\theta$ dans le sens positif, on rencontrera une nouvelle section dont le nombre de spires « sinus » sera, en valeur absolue, $n \sin p_p d\theta = n p_p d\theta$. Suivant la manière dont les connexions sont faites, cette section sera montée en série ou en opposition avec la section « cosinus » correspondante. Nous supposerons les connexions en série, c'est-à-dire faites de façon telle que le nombre de spires soit $+ n p_p d\theta$. D'une façon générale, à une section « cosinus » située à l'angle θ comportant $n \cos p_p\theta$ spires correspondra une section « sinus »

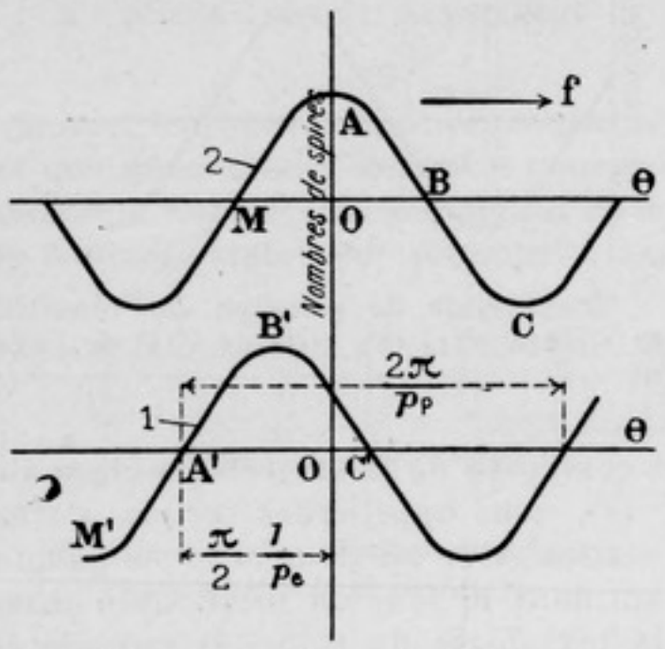


Fig. 26. — Diagramme de répartition des bobinages « sinus » (1) et « cosinus » (2) de l'excitatrice Boucherot pour obtenir $p_c = p_p - p_e$; la flèche f indique le sens de rotation du champ.

comportant $n \sin p_p\theta$ spires. Le diagramme des nombres de spires des bobinages « sinus » et « cosinus » est donc celui de la figure 26; les points correspondants des deux courbes, c'est-à-dire ceux qui représentent les nombres de spires de deux sections élémentaires « sinus » et « cosinus » réunies en série sont distants de $\frac{\pi}{2}\frac{1}{p_e}$ à la périphérie du rotor (par exemple A correspond à A', B à B', etc.).

Soit à un instant donné OA (fig. 27) la phase de la tension induite dans l'élément « cosinus » défini par l'angle θ, tel, par exemple, que $p_p\theta < \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire situé entre A et B (fig. 26), de façon que les nombres de spires « sinus » et « cosinus » soient positifs, pour simplifier le raisonnement. L'élément « sinus » correspondant est décalé dans le champ de $\frac{\pi}{2}$ en arrière dans l'espace sur l'élément « cosinus » dont la force électromotrice est OA; la force électromotrice induite dans cet élément « sinus » est donc déphasée dans le temps de $\frac{\pi}{2}$ en avant sur la force électromotrice OA; elle est donc représentée par un vecteur AB orienté comme il est indiqué sur la figure 27 (si le nombre de spires de l'élément « sinus » était négatif, le vecteur AB changerait de sens).

Considérons au même instant la section dont l'axe est défini par l'angle $\theta + d\theta$; *si elle était située dans le même champ que la précédente*, la force électromotrice induite dans l'élément « cosinus » serait OA', en phase

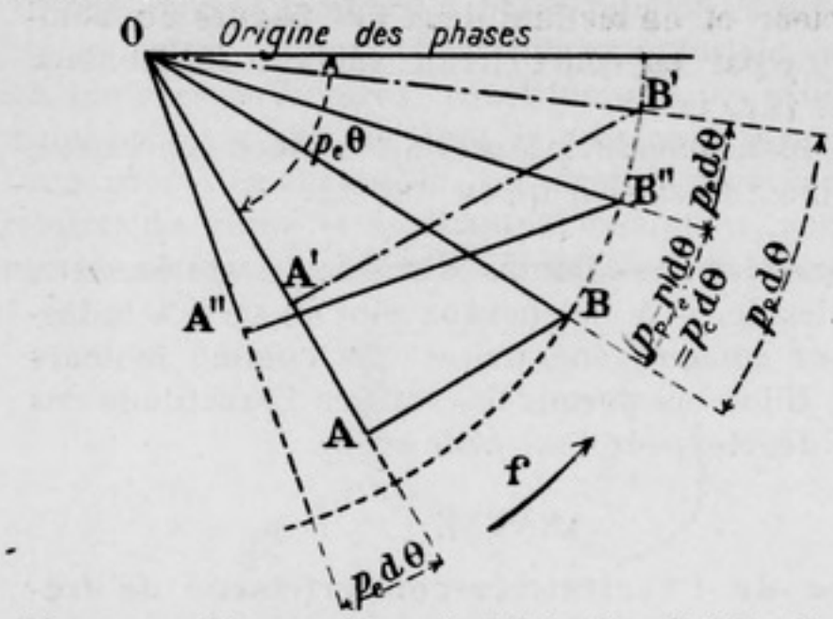


Fig. 27. — Diagramme vectoriel de l'excitatrice Boucherot dans le cas de $p_c = p_p - p_e$; la flèche f indique le sens des avances de phase.

avec OA et plus petite que OA, puisque $p_p\theta$ étant inférieur à $\frac{\pi}{2}$, le cosinus décroît quand l'angle croît et celle induite dans l'élément « sinus » serait A'B' en phase avec AB et plus grande que AB; la force électromotrice induite dans l'ensemble de la section serait OB' au lieu de OB; OB' serait égal à OB et l'angle BOB' serait $p_p d\theta$.

Mais la section dont la position est définie par l'angle $\theta + d\theta$ n'est pas dans le même champ que celle définie par l'angle θ; $d\theta$ étant positif, elle est dans un champ qui est en retard dans le temps de $p_e d\theta$ sur le champ où se trouve la section définie par l'angle θ. Pour avoir la phase de la tension induite dans la section définie par l'angle $\theta + d\theta$, il faudra donc faire tourner le vecteur OB' de $p_e d\theta$ dans le sens des retards, ce qui amènera OA'B' en OA"B". L'angle BOB" compté positivement de B vers B" sera donc $(p_p - p_e) d\theta$.

La force électromotrice induite dans les sections successives à un instant donné varie donc suivant une loi sinusoïdale correspondant à $p_p - p_e$, ou à $p_e - p_p$, paires de pôles. La distribution des potentiels au collecteur correspondra donc à $p_c = p_p - p_e$ ou à $p_c = p_e - p_p$ paires de pôles suivant que p_e sera plus petit ou plus grand que p_p.

2° *Les connexions sont faites pour* $p_c = p_p + p_e$ *paires de pôles*. — Nous avons dit précédemment que les connexions entre les sections « sinus » et « cosinus » étaient faites de façon que la section « cosinus » dont la position est définie par l'angle $d\theta$ soit réunie à une section « sinus » dont le nombre de spires soit $+ n p_p d\theta$. Supposons que l'on inverse les connexions entre les deux sections, le diagramme des nombres de spires « sinus » sera décalé d'une demi-période sur sa position précédente; la figure 26 sera remplacée par la figure 28.

Reprenons alors (fig. 29) le raisonnement fait pour établir le diagramme de la figure 27 : OA étant la phase

de la force électromotrice induite dans l'élément « cosinus », le nombre de spires « sinus » correspondant étant négatif, la phase de la force électromotrice induite dans l'élément « sinus » sera AB en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur OA et non plus en avance comme précédemment.

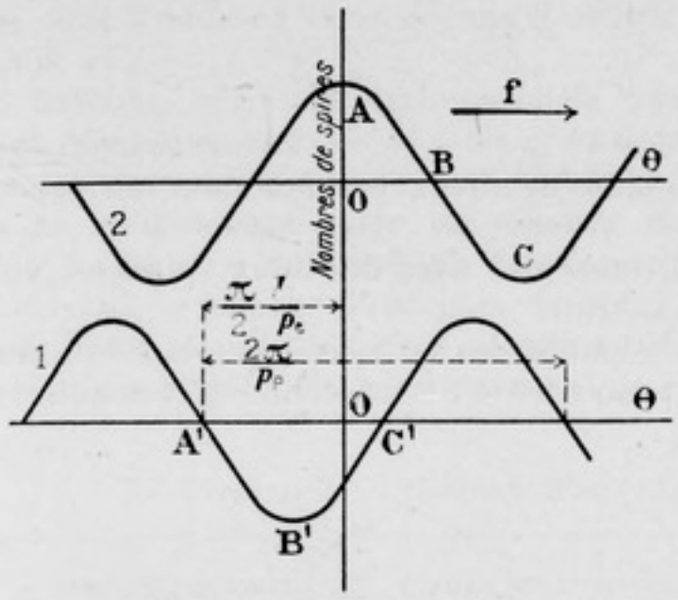


Fig. 28. — Diagramme de répartition des bobinages « sinus » (1) et « cosinus » (2) de l'excitatrice Boucherot pour obtenir $p_c = p_p + p_e$; la flèche f indique le sens de rotation du champ.

OB″ est par suite en retard de $p_p d\theta$ sur OB et non pas en avance; OB″ étant comme précédemment en retard de $p_e d\theta$ sur OB′, l'angle BOB′ sera un angle de retard égal à $(p_p + p_e)\, d\theta$ au lieu d'être un angle d'avance égal à $(p_p - p_e)\, d\theta$. La distribution des potentiels au collecteur correspondra donc à $p_c = p_p + p_e$, et non plus à $p_c = p_p - p_e$ paires de pôles.

Remarques. — 1. Nous avons dit que les deux bobines « sinus » et « cosinus » étant identiques peuvent intervertir leurs rôles. On peut vérifier aisément comme suit que les conclusions ne sont pas changées en faisant cette interversion. Prenons (fig. 26) pour bobinage « cosinus » le bobinage dont le diagramme est A′B′C′ et pour bobinage « sinus » le bobinage correspondant à la sinusoïde ABC. Nous prendrons pour origine des angles θ celui qui correspond au point B′ (fig. 26). Pour un angle θ tel que $p_p\theta < \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire pour un point situé entre B′ et C′ on a OA (fig. 27) pour phase de la force électromotrice induite dans l'élément « cosinus ». L'élément « sinus » correspondant est décalé de $\frac{\pi}{2}$ en avance dans le champ, la force électromotrice induite dans une spire positive est donc déphasée de $\frac{\pi}{2}$ en arrière sur OA; mais comme le nombre de spires « sinus » de cet élément, compris entre B et C (fig. 26), est négatif, sa force électromotrice est en définitive en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur OA; elle doit par conséquent être portée en AB comme précédemment (fig. 27). Le raisonnement se termine ensuite sans aucun changement.

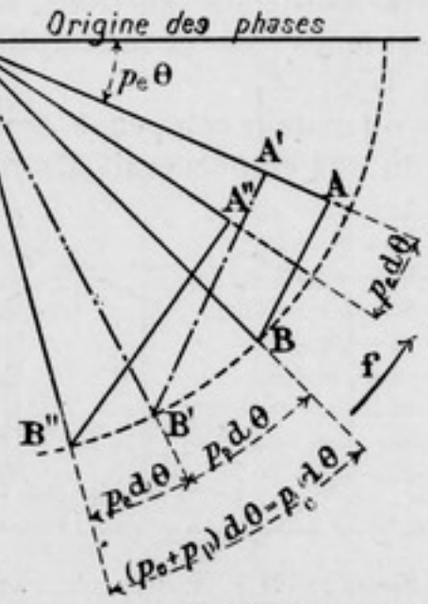


Fig. 29. — Diagramme vectoriel de l'excitatrice Boucherot dans le cas de $p_c = p_p + p_e$; la flèche f indique le sens des avances de phase.

2. On peut se demander si, en changeant le sens de rotation du champ, on ne change pas la polarité du collecteur qui passerait de $p_p - p_e$ à $p_p + p_e$ paires de pôles. En réalité, il n'en est rien. En effet, changeons le sens de rotation du champ, le sens des θ positifs changera. A un élément « cosinus » situé dans le premier quadrant entre A et M (fig. 26) correspondra une force électromotrice OA (fig. 27); l'élément « sinus » correspondant situé entre A′ et M′ (fig. 26) est décalé de $\frac{\pi}{2}$ en avant dans le champ et a un nombre de spires négatif; la force électromotrice induite dans une spire positive serait déphasée de $\frac{\pi}{2}$ en arrière dans le temps sur OA; mais comme le nombre de spires correspondant est négatif, la force électromotrice induite sera AB déphasée en avant de $\frac{\pi}{2}$ sur OA. Le diagramme est bien le même que celui de la figure 27. La polarité du collecteur ne dépend donc uniquement que de la nature des connexions entre les bobinages « sinus » et « cosinus », et non du sens de rotation du champ.

4. Fréquence des courants recueillis au collecteur. — Remarquons que quand les connexions sont faites pour $p_c = p_p - p_e$ paires de pôles, si p_p est plus grand que p_e, le sens de rotation de B vers B″ est inverse du sens de rotation de A vers A″; au contraire, les sens de rotation de B vers B″ et de A vers A″ sont les mêmes si p_p est plus petit que p_e ou si les connexions sont faites pour $p_c = p_p + p_e$ paires de pôles.

Dans le premier cas ($p_p > p_e$, $p_c = p_p - p_e$) les potentiels au collecteur progressent en sens inverse des potentiels dans les conducteurs du bobinage; la même chose est obtenue dans les connexions inversées de Maurice Leblanc. Dans les autres cas, les potentiels au collecteur et dans le bobinage progressent dans le

même sens, comme avec les connexions non inversées de Maurice Leblanc.

Cette remarque étant faite, nous allons voir que l'on retombe sur les mêmes conditions que pour l'excitatrice Leblanc.

1° *Les deux champs tournent dans le même sens et* $p_p > p_e$. — On fera les connexions pour $p_c = p_p - p_e$; on obtiendra des sens de rotation inverses de AA' et de BB', ce qui est l'équivalent des connexions inversées.

2° *Les deux champs tournent dans le même sens et* $p_p < p_e$. — On fera les connexions pour $p_c = p_e - p_p$; on aura le même sens de rotation pour AA' et pour BB', ce qui correspond aux connexions non inversées de M. Leblanc.

3° *Les deux champs tournent en sens inverse.* — La machine est connectée pour $p_c = p_p + p_e$; on obtient l'équivalent des connexions non inversées de M. Leblanc.

La loi liant p_p, p_e et p_c et l'inversion ou la non inversion des connexions sont donc identiques dans les deux machines. La démonstration relative à l'excitatrice Leblanc se trouve dès lors applicable à l'excitatrice Boucherot. Les courants recueillis au collecteur auront donc la fréquence du glissement.

5. Excitatrice sinusoidale a pas linéairement variable et nombre de spires constant par section. — Nous ferons ici une remarque indépendante de la question du moteur compensé, objet de cette étude.

Dans l'excitatrice sinusoïdale, chaque section élémentaire « sinus » ou « cosinus » comporte un nombre de spires variant sinusoïdalement à la périphérie, de façon à obtenir une variation sinusoïdale des vecteurs OA et AB.

Il y a une autre manière d'obtenir cette loi de variation des vecteurs : supposons que toutes les sections élémentaires comportent une seule spire, mais que, la section dont l'axe est au point A (fig. 26) étant à pas diamétral, nous fassions décroître linéairement ce pas de A à B, de façon à obtenir un pas nul en B. Le coefficient de bobinage de la spire unique variera sinusoïdalement de A en B, et nous retomberons sur le même diagramme. Le pas croîtrait ensuite linéairement de B en C, décroîtrait après C, etc.

Ce système ne comportant qu'une spire « sinus » et une spire « cosinus », soit deux spires en série, aurait une commutation beaucoup plus facile que l'excitatrice sinusoïdale à variation du nombre des spires. De plus, la variation sinusoïdale du nombre de spires ne peut être obtenue qu'approximativement puisque les nombres de spires sont forcément entiers, tandis que la variation linéaire du pas réaliserait rigoureusement la variation sinusoïdale du coefficient de bobinage.

On peut d'ailleurs observer que, pour la moitié des sections, les deux spires « sinus » et « cosinus » se réduiraient à une seule.

En effet, pour les spires « cosinus » C, le pas, à l'angle α correspondant à un point compris entre A et B (fig. 26) est :

$$\frac{\pi - \alpha}{2p_e},$$

et, pour les spires sinus S correspondantes

$$\frac{\alpha}{2p_e}.$$

La somme des deux pas fait donc un pas diamétral.

La distance des axes des deux spires est un demi-pas diamétral.

Pour la moitié des sections le montage est celui de la figure 30 où les deux conducteurs MP annulent manifestement leurs effets et peuvent être supprimés, de sorte que les deux spires peuvent être remplacées par une spire unique à pas diamétral.

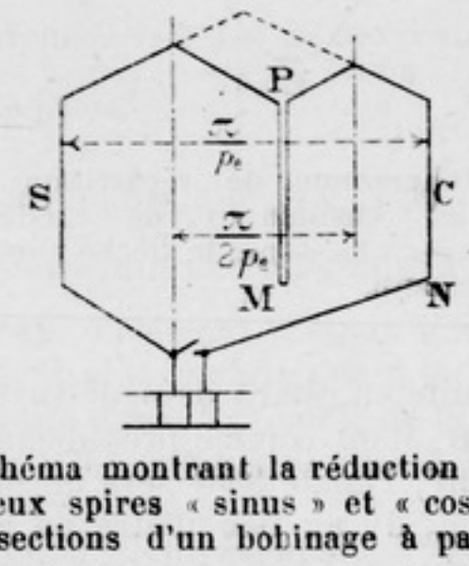


Fig. 30. — Schéma montrant la réduction possible à une spire des deux spires « sinus » et « cosinus » dans la moitié des sections d'un bobinage à pas linéairement variable.

Pour l'autre moitié des sections, les points M et N intervertissent leurs rôles et la simplification n'est pas possible (fig. 31).

Dans le cas du moteur compensé, objet de cette étude, la variation du pas empêcherait généralement l'induction mutuelle d'être nulle entre bobinage principal et bobinage d'excitation, de sorte que ce système n'est pas applicable en ce cas.

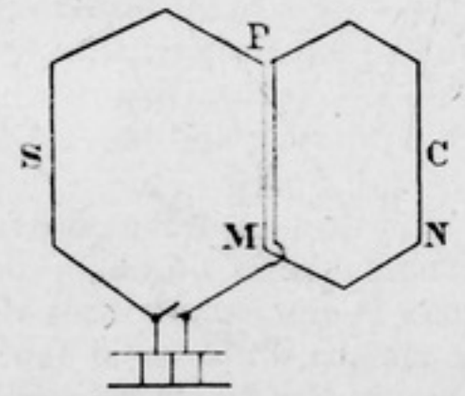


Fig. 31. — Schéma montrant les connexions de l'autre moitié des sections du bobinage à pas linéairement variable.

ANNEXE II

Bobinages rotoriques d'excitation pour moteurs à quatre pôles.

Le bobinage d'excitation est à huit pôles et ne doit pas présenter d'induction mutuelle avec le champ principal à 4 pôles. Il devra donc être constitué de spires deux à deux en série, comme il est indiqué par la figure 12.

Un bobinage série ou série-parallèle ayant 2 ou 4 voies d'enroulement ($2a = 2$ ou 4, en appelant $2a$ le nombre des voies d'enroulement) résout la question. Mais un tel bobinage exige un nombre d'encoches impair ($2a = 2$) ou non multiple de 4 ($2a = 4$). Or, le plus souvent, le nombre d'encoches du rotor est multiple de 4 (36, 48, etc.) puisqu'il est entier par pôle.

Le nombre de pôles du collecteur étant de 12 et celui du bobinage d'excitation de 8, le nombre des lames sera une fois et demi celui des sections du bobinage; celui-ci doit donc être pair, ce qui élimine le bobinage série ordinaire.

De plus, avec les bobinages série-parallèle ordinaires, si l'on a sur le collecteur des lignes de balais de même polarité distantes seulement d'un champ double, une seule spire se trouve mise en court-circuit par les balais au moment de la commutation. La force électromotrice induite par le champ principal dans une spire unique du bobinage rotorique d'excitation pouvant être élevée au démarrage, on pourrait avoir de ce fait des crachements. Certaines dispositions de balais seraient donc rendues impossibles, ce qui constituerait une difficulté supplémentaire.

Ces considérations ont amené l'auteur à étudier, pour le circuit d'excitation des rotors à 4 pôles, des

TABLEAU II. — *Bobinage d'un rotor à 48 encoches avec collecteur à 108 lames et à 12 pôles.*

	NUMÉROS DES LAMES	NUMÉROS DES ENTAILLES	NUMÉROS DES LAMES	NUMÉROS DES ENTAILLES	NUMÉROS DES LAMES
2 circuits	1	1— 6—13—18	56	25—30—37—42	3
	3	2— 7—14—19	58	27—32—39—44	5
	5	3— 8—15—20	60	28—33—40—45	7
	7	5—10—17—22	62	29—34—41—46	9
	9	6—11—18—23	64	31—36—43—48	11
	11	7—12—19—24	66	32—37—44— 1	13
	13	9—14—21—26	68	33—38—45— 2	15
	15	10—15—22—27	70	35—40—47— 4	17
	17	11—16—23—28	72	36—41—48— 5	19
2 circuits	55	25—30—37—42	2	1— 6—13—18	57
	57	26—31—38—43	4	3— 8—15—20	59
	59	27—32—39—44	6	4— 9—16—21	61
	61	29—34—41—46	8	5—10—17—22	63
	63	30—35—42—47	10	7—12—19—24	65
	65	31—36—43—48	12	8—13—20—25	67
	67	33—38—45— 2	14	9—14—21—26	69
	69	34—39—46— 3	16	11—16—23—28	71
	71	35—40—47— 4	18	12—17—24—29	73
2 circuits	19	12—19—24—31	74	36—43—48— 7	21
	21	13—20—25—32	76	38—45— 2— 9	23
	23	14—21—26—33	78	39—46— 3—10	25
	25	16—23—28—35	80	40—47— 4—11	27
	27	17—24—29—36	82	42— 1— 6—13	29
	29	18— 2—30—37	84	43— 2— 7—14	31
	31	20—27—32—39	86	44— 3— 8—15	33
	33	21—28—33—40	88	46— 5—10—17	35
	35	22—29—34—41	90	47— 6—11—18	37
2 circuits	73	36—43—48— 7	20	12—19—24—31	75
	75	37—44— 1— 8	22	14—21—26—33	77
	77	38—45— 2— 9	24	15—22—27—34	79
	79	40—47— 4—11	26	16—23—27—35	81
	81	41—48— 5—12	28	18—25—30—37	83
	83	42— 1— 6—13	30	19—26—31—38	85
	85	44— 3— 8—15	32	20—27—32—39	87
	87	45— 4— 9—16	34	22—29—34—41	89
	89	46— 5—10—17	36	23—30—35—42	91

bobinages spéciaux, où les spires ne sont réunies que de deux en deux au collecteur, ce qui évite toute mise en court-circuit intempestive par les balais. Ces bobinages peuvent s'exécuter dans le type série ($2a=2$), ce qui conduit à un nombre de conducteurs moitié moindre que le type série-parallèle; il en résulte souvent une diminution de la place occupée par le bobinage d'excitation dans les encoches. Le bobinage série simple a un nombre de lames par pôle correspondant au double du nombre de sections, comme cela avait lieu dans les anciens bobinages Mordey, les lames supplémentaires étant réunies au bobinage par des connexions équipotentielles.

Le tableau II donne un bobinage pour rotor à 48 encoches et collecteur à 108 lames à 12 pôles, soit 9 lames par pôle; comme il y a 12 encoches par champ double, toutes les encoches n'auront pas le même nombre de conducteurs.

La section élémentaire est connectée comme l'indique la figure 32. Le tableau II donne la suite des connexions.

Les deux premiers circuits, exécutés seuls, constituent un bobinage série ($2a=2$) avec, tantôt un, tantôt deux conducteurs par entaille. La connexion équipotentielle réunissant les lames 1 et 19 ferme le bobinage.

Les quatre premiers circuits constituent un bobinage

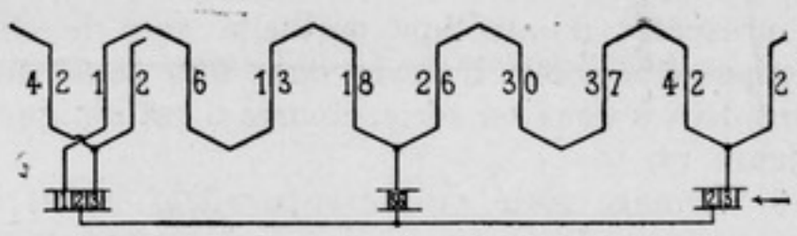


Fig. 32. — Bobinage rotorique d'excitation à 8 pôles pour moteur à quatre pôles ; les chiffres supérieurs correspondent aux numéros des encoches et les chiffres inférieurs aux numéros des lames.

série-parallèle ($2a=4$) à 3 conducteurs par encoche. Les connexions 1-19 et 55-73 ferment le bobinage.

Enfin les huit circuits constituent un bobinage série-parallèle donnant $2a=8$ avec six conducteurs par les connexions 1-19, 55-73, 19-37, 73-91.

On doit, en outre, quel que soit le bobinage adopté, prévoir des connexions équipotentielles réunissant les lames comme il est indiqué par le tableau III.

TABLEAU III. — *Connexions équipotentielles du rotor défini dans le tableau II.*

18 connexions	1re connexion	lames.....	1—19—37—55—73— 91— 1
	2e	id	2—20—38—56—74— 92— 2
	. . . . .		
	18e	id	18—36—54—72—90—108—18

Ces bobinages ont été réalisés et donnent un fonctionnement satisfaisant.

H. DE PISTOYE.

ANNEXE III

Bibliographie.

EXCITATRICE LEBLANC.

L'Eclairage électrique, 28 juillet 1900, t. XXIV, p. 121.
L'Industrie électrique, 25 juillet 1900, t. IX, p. 249.
Elektrotechnische Zeitschrift, 4 oct. 1900, t. XXI, p. 819-819.
The Electrician, 28 septembre 1900, t. XLV, p. 844-847.
Electrical World, 18 août 1900, t. XXXVI, p. 242-243.
A. MAUDUIT. *Electrotechnique appliquée* (édition 1904), p. 782-785; Dunod, éditeur.
A. MAUDUIT. *Installations électriques à haute et à basse tension*, t. II, 1926, p. 1096; Dunod, éditeur.
HOSPITALIER. *Rapports du Congrès international d'Electricité de Paris 1900*, 1901, p. 137-154.
ARNOLD. *Wechselstromtechnik*, t. IV, 1re édition, p. 395, 1904 (la question n'est traitée que très sommairement dans la 2e édition).

EXCITATRICE BOUCHEROT.

L'Eclairage électrique, 1er décembre 1900, t. XXV, p. 342.
L'Industrie électrique, 25 août 1900, t. IX, p. 297.
Elektrotechnische Zeitschrift, 4 octobre 1900, t. XXI, p. 819-820.
The Electrician, 5 octobre 1900, t. XLV, p. 886-887.
Electrical World, 27 octobre 1900, t. XXXVI, p. 652.
Bulletin de la Société internationale des Electriciens, juin 1902, t. II (2e série), p. 446.
P. JANET. *Leçons d'électrotechnique générale*, t. III.
A. MAUDUIT. *Electrotechnique appliquée* (édition 1904), p. 778-782; Dunod, éditeur.
ARNOLD. *Wechselstromtechnick*, t. IV, 1re édition, p. 388, 1904 (la question n'est traitée que très sommairement dans la 2e édition).

Revues, analyses et informations

Bobines d'inductance de mise à la terre avec noyau de fer excité par courant continu (1).

1. INTRODUCTION. — Lorsqu'une ligne de transmission est mise à la terre à travers une bobine d'inductance réglée pour donner la condition de résonance avec la capacité de cette ligne, les arcs à la terre peuvent être éteints dès leur formation et le service ne souffre pas d'interruption de ce fait. Mais s'il existe entre les tensions ou entre les capacités par

(1) Masuho TERADA. *The selected Papers from the Journal of the Institute of electrical Engineers of Japan*, juillet 1928, n° 16, p. 1-9, 2800 mots, 11 fig.

rapport à la terre des différents fils, il se produit une élévation de tension anormale entre les conducteurs et le sol. En munissant la bobine de réactance d'un noyau de fer, ce phénomène peut être atténué mais l'élévation de la tension reste malgré tout dangereuse.

Il est possible d'arriver à supprimer ces surtensions et de donner, par conséquent, une protection efficace à la ligne, en employant comme il est dit ci-dessus une bobine d'inductance avec noyau de fer, mais en ajoutant de plus une excitation en courant continu de ce noyau.

2. Caractéristiques générales des inductances a noyau de fer excité en courant continu. — La courbe de la tension aux bornes en fonction du courant est donnée, pour une bobine d'inductance à noyau de fer du type ordinaire par la courbe I de la figure 1. Lorsqu'on ajoute une excitation en courant continu, les caractéristiques sont entièrement modifiées et

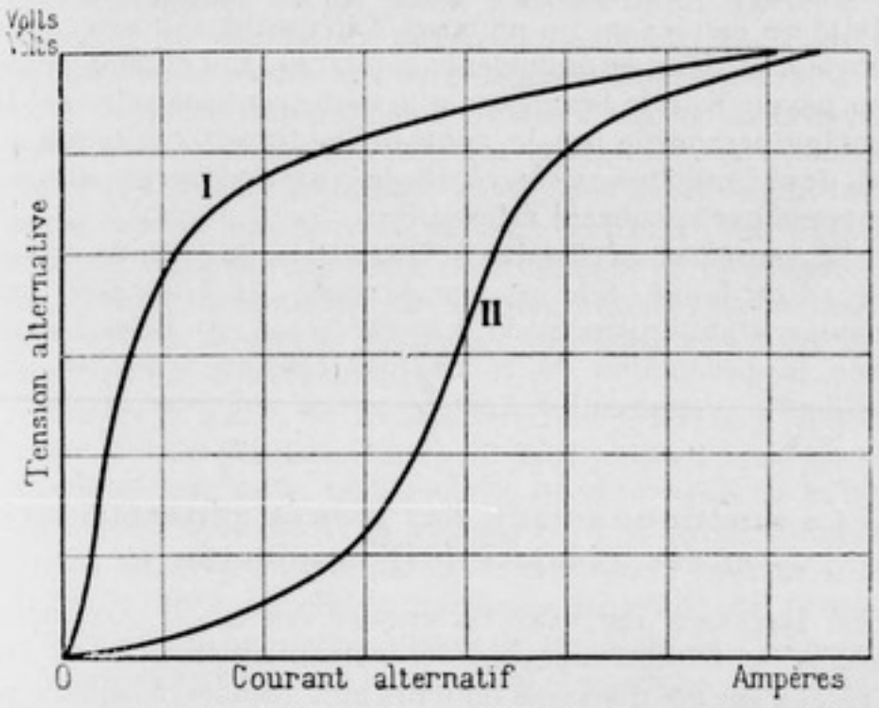


Fig. 1. — Courbes de la tension en fonction du courant : I, cas d'une bobine d'inductance du type ordinaire; II, cas d'une bobine à noyau de fer excité par du courant continu.

on obtient la courbe II dont les inflexions sont complètement changées. On verra plus loin que ceci a une grande importance au point de vue de la protection.

Si nous appelons E_A, E_B, E_C les tensions entre les trois conducteurs A, B, C et la terre, B_A, B_B, B_C les susceptances relatives à ces mêmes conducteurs, X_0 la réactance de la bobine, on doit avoir

$$X_0 = \frac{1}{B_A + B_B + B_C}.$$

Dans ce cas, s'il se produit sur la phase C, par exemple, un court-circuit de résistance R, la ligne et la bobine forment un circuit en résonance en dérivation aux bornes du défaut, le courant à travers celui-ci tombe à zéro et, par suite, l'arc s'éteint immédiatement. Si le noyau est excité par du courant continu, la valeur de la réactance varie avec le courant et la condition ci-dessus n'est pas absolument remplie; toutefois l'écart est assez faible et, en pratique, l'extinction de l'arc est également obtenue.

Supposons maintenant qu'il se produise un certain déséquilibre entre les tensions en étoile de la ligne. Dans ce cas, un certain courant traverse la bobine de protection et l'ensemble des capacités, entre fils et terre, qui se trouve placé en série avec la réactance. Ce courant est dû à l'existence d'une tension résultante E_u et l'on a

$$E_u = \frac{B_A E_A + B_B E_B + B_C E_C}{B_A + B_B + B_C}$$

avec

$$E^2_u = \left(I_0 X_0 - \frac{I_0}{B_A + B_B + B_C}\right)^2.$$

En appelant E_0 la tension aux bornes de la réactance de protection, E_1 celle aux bornes du condensateur formé par la ligne et le sol, on a

$$E_0 = I_0 X_0,$$

$$E_1 = \frac{I_0}{B_A + B_B + B_C},$$

et par suite

$$E_0 = E_1 \pm E_u.$$

Si nous représentons graphiquement ces résultats (fig. 2) E_1 est représenté par une droite D passant par l'origine et dont le coefficient angulaire est

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{B_A + B_B + B_C};$$

la tension E_0 est donc représentée par deux droites paral-

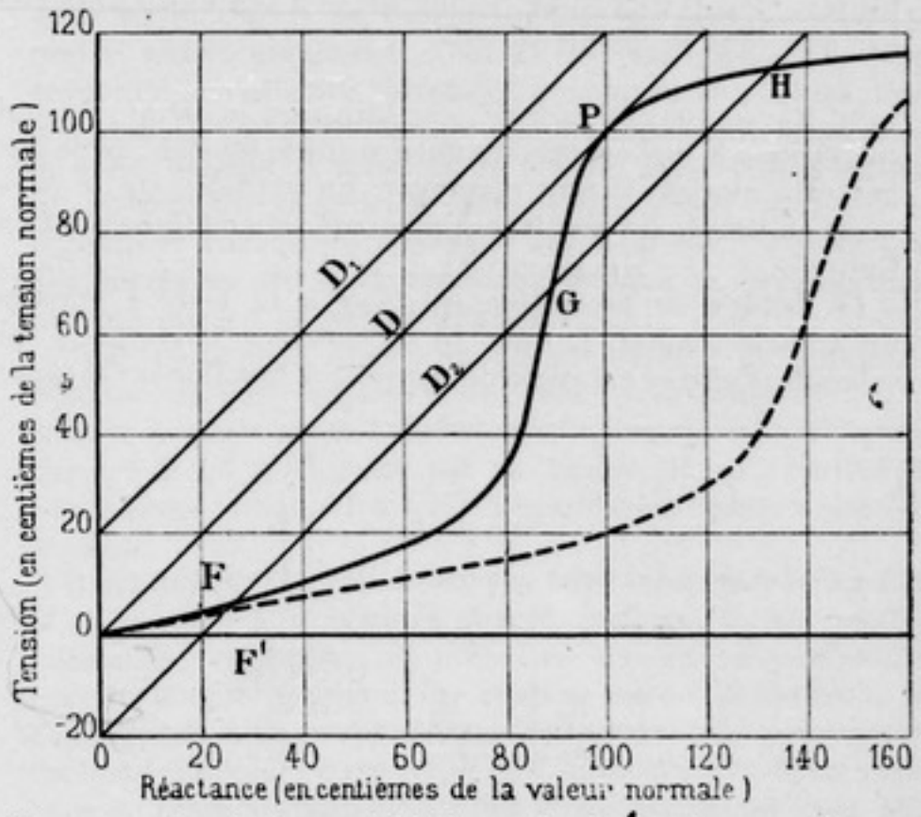


Fig. 2. — Courbes caractéristiques de la tension aux bornes d'une bobine de réactance en fonction de la réactance dans le cas d'une bobine excitée par du courant continu.

lèles D_1 et D_2 dont les ordonnées diffèrent de la première de E_u. Les points coupant la courbe caractéristique seront des points définissant le régime.

Si la réactance est calculée de telle sorte que la droite D soit tangente à la caractéristique en P, la droite inférieure donne trois positions d'équilibre, dont un instable G et deux stables F et H. Le point F est seul utilisé et il correspond à une surtension assez faible aux bornes de la bobine.

Si nous comparons ce résultat avec celui qui serait donné par une bobine à noyau de fer sans excitation en courant continu (fig. 3), nous voyons qu'il y a encore trois points,

dont deux, F et G, sont donnés par une droite et le troisième H par la seconde droite. Ici encore le point F est seul

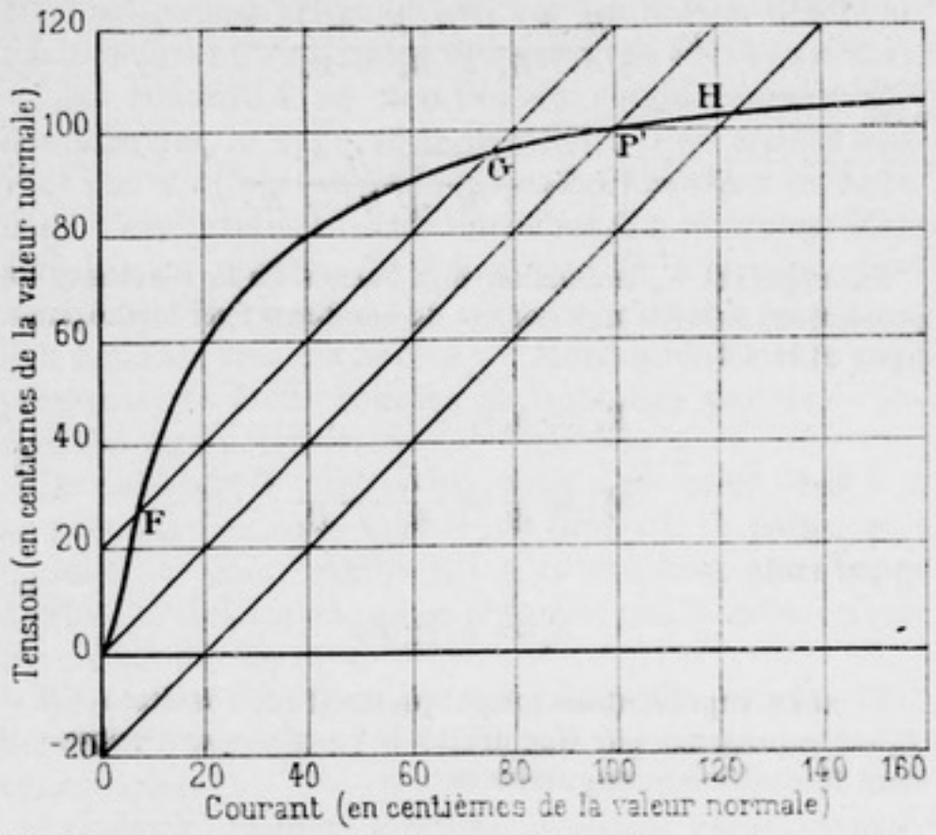


Fig. 3. — Courbes caractéristiques de la tension aux bornes d'une bobine d'inductance en fonction du courant dans le cas où il n'y a pas excitation à courant continu.

utilisé, mais il correspond à une tension beaucoup plus élevée que dans le cas précédent.

3. Relais de protection. — Afin que le point H, qui correspond à une élévation anormale de la tension, ne puisse pas être atteint, il faut employer un artifice. On y parvient au moyen du montage représenté schématiquement en figure 4.

La bobine de protection est mise à la terre à travers un transformateur T_2 dont le secondaire est connecté au relais R. Celui-ci est réglé de manière à fonctionner lorsque

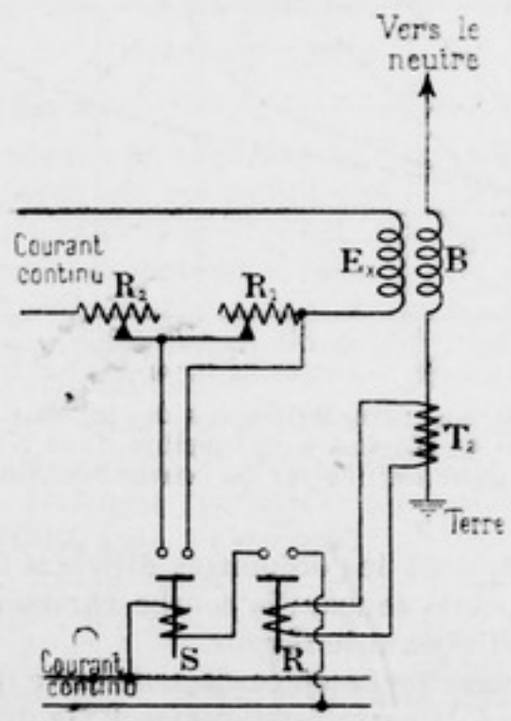


Fig. 4. — Schéma de montage du relais de protection.

le courant dans la bobine atteint une valeur supérieure à celle qui correspond au point P de la courbe. En fonctionnant, il provoque la fermeture du contacteur S, qui met en court-circuit le rhéostat R_1 placé sur le circuit d'excitation de la bobine dont l'inductance augmente, ce qui a pour effet de modifier la courbe caractéristique, qui devient celle représentée en trait discontinu sur la figure 2 et qui présente un seul point d'équilibre F' très voisin de F. Le courant se met donc à décroître pour que ce point F' soit atteint : le relais R s'arrête alors de fonctionner, l'installation reprend les caractéristiques premières et le régime défini par F s'établit. On voit que par cette combinaison il est impossible que des surtensions anormales se produisent.

Remarquons qu'en cas de mise à la terre de l'un des conducteurs, le relais R se trouve également appelé à fonctionner. On peut l'éviter très facilement en lui donnant un léger retard ; l'arc a alors le temps de s'éteindre (on a vu plus haut que ce temps était très court) avant que le relais ait commencé à démarrer.

4. Remarques. — Avec l'excitation du noyau de fer en courant continu il peut y avoir dyssymétrie du courant et production d'harmoniques gênants. Cet inconvénient est évité en employant un montage différentiel soit avec deux noyaux et deux enroulements combinés, soit en employant un noyau à trois branches, la branche centrale recevant la bobine parcourue par le courant continu d'excitation et les deux branches extrêmes, les bobines parcourues en sens inverse par le courant alternatif.

La puissance nécessaire à l'excitation du type de bobine décrit est faible. Elle est, par exemple, de 8 kw pour une bobine établie pour 2 000 kw et 89 000 v. Il en résulte que la production de ce courant continu n'est pas une difficulté s'opposant à l'emploi de ce nouveau dispositif. — B. E.

Le fonctionnement des usines génératrices et des réseaux interconnectés (1).

1. Influence des caractéristiques des lignes d'interconnexion. — L'interconnexion des usines génératrices et des réseaux sur des distances toujours plus grandes, à laquelle on a recours pour obtenir une compensation satisfaisante entre la production et la consommation d'énergie électrique et une réserve prête à entrer en action en cas d'accident aux lignes ou aux machines, donne lieu à une série de phénomènes électriques et mécaniques, qui jouent un rôle capital dans la transmission de l'énergie à très grande distance. L'auteur donne dans cette étude un aperçu général de ces phénomènes.

Il s'agit tout d'abord des courants actifs et réactifs et de leur répartition. Deux usines étant reliées entre elles on ne peut transmettre une puissance quelconque de l'une à l'autre ; il existe en effet entre les caractéristiques de la ligne qui les raccorde, notamment entre sa résistance et sa self-inductance, entre les puissances actives et réactives transmises et les tensions des deux usines, des relations dont il faut tenir compte. Il n'est pas possible de régler leur tension indépendamment l'une de l'autre ; si celles-ci sont maintenues constantes, elles accusent un déphasage entre elles et on ne peut transmettre une puissance active qu'avec une puissance réactive qui lui est proportionnelle. Pour avoir un déphasage nul il faut admettre entre les tensions une différence de grandeur qui peut être très forte pour le cas d'une ligne aérienne. On règle le courant actif en agissant sur le régulateur des machines motrices et le courant réactif, en agissant sur l'excitation des machines électriques. Comme chaque usine a ordinairement son propre réseau à alimenter, on maintient sa tension cons-

(1) Reinhold Rudenberg. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 4 juillet 1929, t. L, p. 970-984. 15 000 mots, 35 figures, 3 tableaux.

tante et on règle l'échange d'énergie par la ligne de transmission en faisant varier la tension aux extrémités de cette dernière au moyen de transformateurs.

Cette méthode de réglage est aussi employée pour compenser les courants de circulation, actifs et réactifs, dans une ligne bouclée sur laquelle travaillent plusieurs usines.

La puissance transmissible d'une usine à l'autre dépend de la résistance, de l'inductance et de la tension de la ligne qui les relie ainsi que des déphasages entre les tensions aux diverses usines reliées. Cet angle de déphasage croit plus rapidement que la charge qui, de ce fait, ne peut pas dépasser un certain maximum sans quoi les machines se décrochent. Le couple synchronisant qui les maintient en parallèle est fonction de la charge et de l'excitation; une charge inductive le renforce tandis qu'une charge capacitive l'affaiblit. En cas de brusques variations de la puissance transmise, il se produit des oscillations de la roue polaire des machines synchrones, susceptibles d'occasionner leur décrochage. Des oscillations de ce genre peuvent aussi provenir de l'inertie du régulateur des machines motrices. Pour les réduire on a recours aux enroulements amortisseurs.

Le fonctionnement stable de deux usines marchant en parallèle n'est donc possible que si la puissance transmise de l'une à l'autre reste bien au-dessous de sa valeur maximum admissible pour la distance qui entre en ligne de compte. On peut augmenter cette distance en prévoyant sur la ligne de transmission des stations intermédiaires dont le but est de réduire le déphasage des tensions et par là de maintenir le synchronisme.

Lorsqu'il s'agit de transmettre une puissance considérable à très grande distance, il faut utiliser une tension élevée et, par suite, tenir compte de la capacité de la ligne de transmission et de sa résistance à la propagation des ondes électriques. D'après cette résistance, l'auteur détermine ce qu'il appelle la puissance naturelle de la ligne, c'est-à-dire la puissance à laquelle les effets de l'inductance et de la capacitance se compensent. La tension et le courant conservent dans ce cas les mêmes valeurs sur tout le parcours de la ligne ; les vecteurs qui les représentent subissent seulement une rotation. Mais si l'on travaille à une puissance inférieure à la puissance naturelle, la capacité l'emporte sur l'inductance et détermine une forte élévation de la tension à l'extrémité de la ligne ; le phénomène contraire se produit quand on dépasse la puissance naturelle.

Pour ramener les variations de tension à une valeur admissible pour un service de transmission d'énergie, on est alors obligé de recourir à des stations de réglage intermédiaires. Les conditions optima de fonctionnement d'une ligne s'obtiennent donc pour la transmission de sa puissance naturelle. Dans ce cas, le rapport de la tension au courant de charge correspond à l'impédance caractéristique de la ligne.

Pour obtenir les mêmes conditions avec des puissances différentes, la tension restant constante, on est obligé de faire varier cette impédance au moyen de bobines de self-inductance ou de condensateurs répartis en série ou en parallèle sur la ligne, ou encore à l'aide de générateurs de courant réactif, de manière que les réactances de capacité et de self-induction le long de la ligne se compensent. La transmission de la puissance naturelle s'effectue sans aucun appareil de compensation. Si la charge est inférieure à cette puissance, on augmente la self-inductance de la ligne par des bobines en série ou on réduit sa capacité par des bobines en parallèle ; si elle lui est supérieure, on réduit la self-inductance de la ligne par des condensateurs en série ou on augmente sa capacité par des condensateurs en parallèle.

2. Modes de compensation et réglage de la compensation. — Depuis la marche à vide jusqu'à la charge naturelle, la puissance de compensation est toujours inductive ; elle devient ensuite capacitive et croit rapidement à mesure que la puissance à transmettre augmente, de sorte que cette dernière atteint rapidement une limite qu'on ne peut dépasser sans recourir à des moyens de compensation trop onéreux. C'est pourquoi la transmission de grandes puissances s'effectue toujours par plusieurs lignes en parallèle. Les machines synchrones sont très appropriées pour obtenir une compensation inductive ou capacitive par simple variation du courant d'excitation, mais; en raison de leur instabilité à excitation réduite, il convient de ne les faire travailler qu'à demi-charge lorsqu'elles doivent fournir une puissance inductive.

Les machines asynchrones à collecteur permettent également de réaliser une bonne compensation capacitive ou inductive et elles n'ont pas tendance à effectuer des mouvements pendulaires. La compensation par couplage en série et en parallèle de bobines de self-inductance et de capacités paraît devoir très bien convenir pour de longues lignes de transmission. Toute transmission d'énergie nécessite un réglage des appareils ou des machines de compensation. Quand la charge varie il faut aussi faire varier la self-inductance ou la capacité de la ligne, ou bien modifier l'excitation des machines fournissant le courant réactif. Pour une transmission uniquement d'un bout à l'autre de la ligne on peut régler ensemble toutes les machines de compensation ; mais si des stations intermédiaires reçoivent de l'énergie de la ligne ou lui en fournissent, il est nécessaire de les régler individuellement. Comme la transmission la plus économique s'effectue à tension constante, le réglage de la compensation peut s'effectuer automatiquement en fonction de cette tension. A cet effet, on prévoit dans chaque station un indicateur de tension qui, par un relais, agit sur le régulateur chargé de renforcer ou d'affaiblir l'excitation des machines de compensation, lorsque la tension qu'il indique diffère de sa valeur normale.

Pour réduire au minimum les oscillations de puissance réactive, il faut employer un relais très sensible ; mais comme le réglage dans une station influe sur les autres stations, qui ne manquent pas de réagir, il en résulte des oscillations inévitables qui disparaissent parfois difficilement.

Il est donc préférable de ne pas faire intervenir la tension et de recourir à un réglage direct, basé sur le fait que les puissances capacitive et inductive doivent se compenser tout le long de la ligne. Ce réglage peut être assuré dans chaque station au moyen d'un indicateur qui, pour éviter toute oscillation, ne surveille que la moitié des deux tronçons de ligne de part et d'autre d'une station ou deux stations voisines, et qui comprend quatre relais agissant sur l'arbre du régulateur d'excitation, influencés: le premier par la puissance capacitive des deux tronçons de ligne, le second et le troisième par leurs courants inductifs et le quatrième par la puissance de compensation de la station. On peut également utiliser ce quatrième relais pour compenser aussi la chute de tension provenant de la résistance de la ligne. Une condition essentielle que doivent remplir les dispositifs de réglage de la compensation, c'est d'être à action extrêmement rapide.

L'auteur termine son étude en examinant les causes de perturbation sur les lignes de transmission et les moyens à employer pour éviter leurs effets.

Les surtensions résultant d'interruption de la ligne peuvent être combattues au moyen d'un relais qui met

immédiatement en action tous les appareils de compensation inductive. Les brusques variations de charge font que les machines se décrochent quand leurs caractéristiques accusent de trop grandes différences. Les courts-circuits sur la ligne rendent la transmission de l'énergie instable et affaiblissent le couple synchronisant.

Des dispositifs d'extinction des arcs de court-circuit aident à maintenir la stabilité des machines. Il n'est pas recommandable de recourir à des bobines de self-inductance ou de prévoir des machines avec une trop forte chute de tension, qui affaiblirait le couple synchronisant. Le mieux serait de pouvoir réduire la durée de déclenchement des relais et des interrupteurs. — C. A.

Effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs (1).

La continuité du service des réseaux de transmission d'énergie est devenue une question primordiale en raison du développement rapide de ces derniers. Des études sur les lignes de transmission et sur l'appareillage d'interconnexion, dont le transformateur est un des organes les plus essentiels, ont été entreprises. Elles sont surtout relatives aux surtensions qui constituent la principale source de perturbations. L'emploi du klydonographe ou de l'oscillographe à rayons cathodiques a permis de mettre en évidence les surtensions et leurs diverses modalités.

L'auteur classe les surtensions des réseaux, et par conséquent celles qui affectent les transformateurs, en trois groupes : surtensions produites par un arc à la terre ; surtensions lors des manœuvres d'interrupteurs ; surtensions d'origine électrostatique ou dues à la foudre.

Ces surtensions n'ont pas toutes la même importance. Ainsi, les arcs à la terre, si le neutre est relié à la terre, développent une tension égale ou double de la tension normale, et si le réseau est isolé, à six fois la tension normale.

Les opérations de couplage des réseaux, en général, ne causent pas de surtensions dangereuses.

Les surtensions, dues aux coups de foudre, atteignent une valeur très grande et leurs conséquences sont particulièrement graves. Cependant, certains facteurs, dont le principal est la décharge à la terre, limitent les surtensions dues à la foudre.

L'auteur décrit les expériences qui ont été faites en vue de l'étude plus spéciale de l'effet des surtensions sur les enroulements des transformateurs et les résultats en sont donnés dans l'article sous forme de courbes.

On a étudié l'effet, sur la distribution du potentiel, de la forme de l'enroulement, par exemple dans le cas d'une longue colonne comportant des bobines de petit diamètre, ou au contraire d'une colonne courte à bobines de grand diamètre. Ces résultats sont résumés sur des courbes.

Les oscillogrammes montrent que les oscillations sont les plus grandes pour les ondes longues. Si la surtension est de courte durée, l'amplitude des oscillations ne dépasse pas la tension atteinte lors du passage du front de l'onde. D'autre part, si on mesure la différence de potentiel par rapport à la terre, on obtient la tension maximum qu'atteindront les oscillations.

La grandeur de l'amplitude des oscillations dans les enroulements est déterminée par les constantes du réseau.

Des deux catégories de courbes dont il vient d'être question, c'est-à-dire celles donnant la distribution normale du potentiel dans l'enroulement et celles donnant le maximum probable de tension, on déduit que les plus grandes amplitudes sont celles causées par les surtensions à front très raide, et celles-ci atteignent alors 14 à 15 fois la valeur normale de la tension.

La distribution initiale du potentiel dans les enroulements joue un rôle très important ; elle dépend des propriétés physiques de l'enroulement. D'après les courbes données dans l'article, les plus grandes amplitudes auraient lieu dans les enroulements dont la forme est la plus simple. Enfin, d'autres courbes représentent les amplitudes des oscillations de la tension par rapport à la terre, les tensions étant relevées dans diverses parties de l'enroulement du transformateur.

En résumé, l'auteur montre que par des déterminations expérimentales on peut étudier et améliorer les enroulements des transformateurs, de manière à éviter leur détérioration par des surtensions accidentelles. — I. F.

(1) J.-K. Hodnette. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, novembre 1929, t. XLVIII, p. 829-832, 2 200 mots, 7 figures.

La signalisation des passages à niveau (1).

L'expérience a montré que sur le réseau des Chemins de fer fédéraux suisses 30 pour 100 des accidents se produisent aux passages non gardés et 70 pour 100 aux passages à barrière ; 80 pour 100 de ces derniers sont dus à la barrière elle-même. Pour parer à ce danger, on a disposé en signal avancé de chaque côté du passage des plaques indicatrices et l'on munit l'arbre de la barrière de lentilles réfléchissantes. Ces mesures sont suffisantes par temps clair et pour des routes peu fréquentées, mais demeurent inefficaces par temps de brouillard.

La nouvelle ordonnance fédérale exige qu'un signal principal à signalisation automatique soit disposé de chaque côté de la voie. A 150 m du passage se trouve la plaque triangulaire avec le symbole de la voie. Entre le signal avancé et le signal principal, des poteaux spéciaux indiquent par un nombre décroissant de bandes la distance qui les sépare du passage.

La signalisation automatique est à feux clignotants et à cloche. On a étudié des circuits électriques simples avec des appareils robustes pour éliminer les causes de pannes. Les pédales de rail à contact de mercure ont donné des résultats excellents.

La construction de la pédale de rail est la suivante : le patin du rail est monté entre quatre brides de la pédale. Le contact entre les électrodes est établi par un jet de mercure issu d'une capsule comprimée par le passage d'un essieu dans un godet, au fond duquel aboutissent les électrodes. Le contact dure jusqu'au moment où le mercure redescend dans la capsule.

Les électrodes de contact de la pédale sont intercalés dans le circuit du dispositif thermique de clignotement. Le fonctionnement de cet appareil est basé sur l'établissement et l'interruption périodiques de contacts, à raison de 89 p : s, au moyen d'une colonne de mercure chassée alternativement par la dilatation intermittente de deux volumes de gaz sous l'influence du réchauffage par le courant. L'article donne le schéma complet du dispositif pour un passage à niveau à une voie. Dans les circuits à plusieurs voies, le dispositif comporte, outre le dispositif à clignotement, autant de relais de maintien qu'il y a de voies à protéger. Il est évident que la sécurité de ces dispositifs dépend essentiellement de la continuité de l'alimentation des circuits et de la stricte observance des signaux par les usagers de la route. — S. O.

(1) G.-F. Wittgenstein. *Schweizerische Bauzeitung*, 28 septembre 1929, t. XCIV, p. 161-163, 1 800 mots, 6 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydroélectriques.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 NOVEMBRE 1929.

Des rapports concernant l'exercice 1928-1929 de cette société, dont le siège social est à Notodden (Norvège), nous extrayons les renseignements qui suivent :

Ainsi qu'il était mentionné dans le rapport du conseil d'administration relatif au précédent exercice (1), d'importants travaux ont été entrepris dès le début de l'année 1928, à la suite de l'entrée en collaboration de la société avec l'Interessen Gemeinschaft Farbenindustrie, en vue de la transformation des usines et de l'augmentation de leur production. Ces travaux ont été poursuivis très activement au cours de l'exercice 1928-1929 et ont progressé d'une façon satisfaisante et conformément au programme établi et ils sont à l'heure actuelle presque entièrement terminés. Le rapport donne à leur sujet les renseignements complémentaires suivants.

Les transformations entreprises ont permis de tripler environ la capacité de production annuelle de la société, grâce à l'économie d'énergie obtenue dans les nouveaux procédés. Ces transformations ont porté sur une partie des usines de Vemork et Rjukan, et ont eu pour but de substituer, aux anciennes méthodes de fixation de l'azote par le procédé à l'arc, les méthodes très sensiblement plus avantageuses de l'I. G. Farbenindustrie. D'autre part, un groupe nouveau, celui des fabriques nitratières d'Eidanger, a été édifié sur les terrains que possède la société, au bord de la mer, à Heröen, port libre de glace en hiver, où les plus grands vapeurs peuvent venir à quai. Une sensible économie de frais de transports sera ainsi réalisée, une partie de l'azote produit à Rjukan étant envoyé, à l'état très concentré, sous forme d'ammoniaque liquide, à Heröen pour y être utilisé à la fabrication de nitrate de chaux. La pierre calcaire nécessaire à cette production se trouve, en grandes quantités, à proximité des fabriques. Le transport de la pierre se fait directement de la carrière à la fabrique, au moyen d'un transporteur à câble. La société s'est déjà assuré une partie de ces gisements calcaires; ses besoins en pierre calcaire sont ainsi couverts pour une période de quarante ans.

Les nouvelles installations de Vemork et Rjukan ont été mises en marche dès le 1er avril 1929, et, un peu plus tard, les nouvelles fabriques d'Heröen; à la fin de l'exercice 1928-1929, la partie essentielle des nouvelles installations était terminée et en exploitation.

La mise en route des nouvelles installations s'est effectuée sans les à-coups habituels pour les usines de ce genre. Les résultats obtenus jusqu'ici dans les installations nouvelles sont très favorables et confirment les prévisions faites tant au point de vue de l'augmentation de la production, qu'à celui de la diminution des frais de production.

La période de transition traversée par la société depuis la conclusion des accords avec la I. G. Farbenindustrie a donc pris fin. Les installations chimiques rénovées, qui lui assurent une meilleure utilisation de son domaine hydroélectrique, la mettent en possession d'un ensemble industriel de la plus grande valeur.

Quant au groupe de Notodden, qui avait été transformé pour la fabrication synthétique de l'ammoniaque avant même la réalisation des accords avec la I. G. Farbenindustrie, son exploitation continue à donner des résultats particulièrement satisfaisants. Comme il est apparu qu'avec l'hydrogène électrolytique absolument pur, la capacité de rendement de l'installation de synthèse dépassait de beaucoup les prévisions faites, des travaux ont été entrepris pour doubler la capacité des fabriques d'ammoniaque de Notodden; de ce chef, les résultats de l'exploitation seront encore plus favorables que jusqu'à présent.

Parmi les autres constructions nouvelles, le rapport cite les travaux d'aménagement de l'usine génératrice appartenant à une filiale, la Société des Chutes de Tyin. Au cours de l'exercice écoulé ce sont surtout des travaux de tunnels qui ont été effectués, conformément au programme établi. Grâce aux concessions supplémentaires obtenues, la Société des Chutes de Tyin disposera d'environ 120 000 ch dans son usine qui sera édifiée à proximité d'un port libre de glace en hiver.

La hauteur de chute est de 1 000 m et la puissance aménagée sera utilisée dans une seule usine; la machinerie sera ainsi fort simple et les frais d'aménagement relativement réduits. Etant donné que la plus grande partie de la régularisation de l'eau alimentant l'usine génératrice s'effectuera dans le grand lac de Tyin, les travaux de régularisation nécessaires seront peu importants et n'entraîneront donc pas de grosses dépenses. D'ailleurs, les conditions particulières de la région de Tyin permettent une régularisation peu dispendieuse ainsi qu'un aménagement bon marché. L'usine génératrice de Tyin comptera donc parmi les installations hydroélectriques les plus avantageuses.

L'exploitation du chemin de fer électrique de Vestfjorddal ainsi que celle des bacs sur le Tinnsjö se sont effectuées régulièrement et sans interruption. Au cours de l'année, un troisième bac à vapeur a été construit pour assurer un trafic supplémentaire sur le Tinnsjö.

Les conditions de débit des rivières ont été défavorables durant l'année écoulée. Malgré cela, en raison du fait que la société a pu profiter partiellement des nouvelles installations pendant les derniers mois de l'exercice, la production annuelle n'a été que légèrement inférieure à celle du dernier exercice, laquelle s'élevait à un chiffre qui n'avait encore jamais été atteint.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 29 décembre 1928, t. XXIV, p. 997-998.

Les fabrications de la société comprennent, comme précédemment, le nitrate de Norvège à 13 pour 100 d'azote, l'acide nitrique, le nitrate d'ammoniaque, le nitrate et le nitrite de soude. Les nouvelles installations ayant été achevées avant le moment prévu, la société a déjà pu fabriquer une certaine quantité de son nouveau produit, le nitrate de chaux à 15,5 pour 100 d'azote, qui remplacera peu à peu son ancien produit principal, le nitrate de Norvège. Il a été également fabriqué quelques milliers de tonnes d'un nouvel engrais « le nitammonkalk », à 25,5 pour 100 d'azote, consistant en un mélange de nitrate d'ammonium et de carbonate de calcium.

La production des usines a trouvé de bons débouchés quoique à des prix plus faibles en raison de la baisse générale des prix de l'azote. Les accords commerciaux et techniques, conclus avec la I. G. Farbenindustrie en 1927, ont toutefois permis d'éviter une concurrence préjudiciable. Le conseil d'administration pense que la conclusion d'accords avec d'autres producteurs d'azote pourra également exercer une influence favorable sur les conditions des marchés de vente.

En ce qui concerne les questions ouvrières, à la suite de négociations avec les ouvriers et leurs organisations, les conventions ouvrières relatives à l'exploitation des usines, venues à expiration au printemps dernier, ont été réglées pour une nouvelle période de deux ans.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 10 millions 102 197,54 couronnes norvégiennes (la couronne norvégienne vaut actuellement 6,80 fr environ); il comprend : bénéfices d'exploitation des fabriques nitratières de Notodden, 2 906 497,86 couronnes; recettes, 8 201 327,05 couronnes; dépenses d'exploitation, 5 294 829,19 couronnes; intérêts reçus sur prêts aux sociétés filiales, 1 723 105,66 couronnes; revenus du portefeuille, 5 316 494,50 couronnes; divers, 156 099,52 couronnes.

Le débit de ce compte comprend les sommes suivantes exprimées en couronnes norvégiennes : frais généraux, 497 134,65 fr; frais de vente, 62 891,08; impôts, 1 673 510,96; intérêts, 2 206 300,76 fr; amortissement, 1 615 108,65. Le total est de 6 054 946,10 couronnes.

Le bénéfice net ressort ainsi à 4 047 251,44 couronnes. Addition faite du solde de l'exercice précédent, soit 1 027,16 couronnes, le solde disponible est de 4 048 278,60 couronnes.

Ce solde est réparti comme il suit : prélèvement pour fonds de réserve, 404 725,14 couronnes; dividende de 8 pour 100 aux actions de préférence, 360 028,80 couronnes; dividende de 6 pour 100 aux actions ordinaires, 3 188 354,40 couronnes; report à nouveau, 95 170,26 couronnes.

Le dividende se trouve ainsi fixé à 14,40 couronnes par action de préférence (au nombre de 25 002) et à 10,8 couronnes par actions ordinaires (au nombre de 295 218). Pour couvrir l'impôt sur les actions et conformément aux dispositions fiscales norvégiennes, actuellement en vigueur, il sera retenu par la société, lors du paiement du dividende, 2,88 couronnes par coupon sur les actions de préférence et 2,16 couronnes par coupon sur les actions ordinaires appartenant à des actionnaires étrangers. Le montant net de tels coupons sera donc de 11,52 couronnes pour les actions de préférence et de 8,64 couronnes pour les actions ordinaires, payable à Stockholm, Paris, Genève et Bruxelles, au change à vue sur Oslo, les jours de la présentation des coupons. Ce dividende est payable depuis le 16 décembre 1929.

Ajoutons que l'assemblée, agissant comme assemblée extraordinaire, a adopté la résolution suivante relative à une augmentation du capital :

L'assemblée générale approuve les propositions présentées par le conseil d'administration et ratifiées par le conseil de surveillance, concernant l'augmentation du capital-actions de 76 852 800 couronnes, jusqu'à un montant maximum de 104 999 940 couronnes, par l'émission d'un nombre maximum de 156 373 actions nouvelles ordinaires au capital nominal de 180 couronnes-or chacune, soit une augmentation maximum de 28 147 140 couronnes.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	couronnes
Immeubles à Oslo	385 312,39
Chute de Svælgfos; terrains, droits et autres propriétés foncières	4 239 907,32
Usines hydroélectriques et électrochimiques de Svælgfos-Notodden, installations et bâtiments	30 540 343,05
Travaux de régularisation	1 599 125,59
Actions des sociétés filiales	80 971 225 »
Diverses actions	18 603 521,68
Obligations au porteur	431 022,50
Obligations hypothécaires	1 276 454,10
Brevets	1 »
Prêts aux sociétés filiales	6 264 488,05
Compte effets	319 580,10
Clients et débiteurs divers	4 751 001,70
Matériaux en stocks	566 842,17
Matières premières en magasin	66 078,43
Produits fabriqués	4 586 470,69
Produits en cours de fabrication	27 093,26
Mobilier	36 »
Espèces en banques	5 218 521,82
Caisse	7 910,69
	159 854 935,54

Passif.

	couronnes
Actions de préférence nos 1 à 25 002	4 500 360 »
Actions ordinaires nos 1 à 295 218	53 139 240 »
Actions ordinaires nos 295 219 à 401 958 jouissance du 1er janvier 1930	19 213 200 »
Fonds de réserve	5 895 333,04
Fonds à disposition	14 642 976,32
Prélèvement pour la construction d'un nouvel immeuble administratif à Oslo	4 000 000 »
Fonds d'amortissement	17 362 152,78
Emprunt obligataire de 1921	8 800 000 »
Emprunts aux sociétés filiales	7 886 743,96
Créditeurs divers	19 951 684,61
Dette hypothécaire	139 270,23
Capital des rentes foncières à servir	275 696 »
Report de l'exercice précédent	1 027,16
Compte de profits et pertes 1928-1929, excédent	4 047 251,44
	159 854 935,54

SECTION DE LÉGISLATION

La troisième phase de la réforme de la loi du 5 juillet 1844 sur les brevets d'invention

L'auteur, qui a publié ici une série d'études (*) sur les diverses phases de la réforme de la législation française sur les brevets d'invention et a notamment analysé successivement le projet de réforme déposé par le Gouvernement, puis le projet voté par la Chambre et le texte remanié par le Sénat, examine dans le présent article les modifications et les innovations apportées par la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre des Députés, en analysant le rapport de M. Georges Boucheron, qui vient d'être déposé et distribué. On verra que si, d'une façon générale la Chambre se rapproche du Sénat, elle maintient, par contre, certaines dispositions et en propose même de nouvelles que le Sénat sera sans doute, tout au moins pour la majeure partie, disposé à accepter.

I. **Introduction.** — Après un long examen du projet de loi retour du Sénat, lequel avait modifié sur des points importants le texte voté par la Chambre, M. Georges Boucheron vient de déposer, au nom de la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre, un intéressant rapport justifiant le nouveau texte que la Chambre va mettre à son ordre du jour.

Il est dans l'intention de la Commission d'en réclamer la plus prochaine discussion possible ; il faut souhaiter que celle-ci puisse avoir lieu sans trop attendre, qu'un texte semblable ou légèrement amendé puisse être voté avant la fin de la session et que le Sénat, saisi à son tour, puisse en délibérer, de manière qu'avant la fin de la législature la réforme de la législation sur les brevets d'invention, depuis si longtemps en instance, soit chose accomplie.

Comme un projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique du 23 juin 1857 a été également récemment déposé par le Gouvernement, et qu'on peut espérer le voir venir prochainement aussi en discussion, notre législation sur la propriété industrielle bénéficierait ainsi d'un remarquable rajeunissement ; si ces deux projets aboutissaient, les avantages économiques qu'ils devraient déterminer, feraient oublier la longue attente imposée à la patience des intéressés.

II. **Examen du nouveau texte du projet.** — Le nouveau texte de la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre des Députés, apporte des modifications à la fois au texte voté par le Sénat et au texte voté par l'ancienne Chambre.

D'une façon générale par comparaison avec les précédents textes il présente les caractéristiques suivantes :

Il accepte la conception du Sénat excluant la brevetabilité des produits chimiques ; il étend le délai accordé au breveté pour le paiement des taxes en retard ; il reprend le système de la restauration des brevets, rejeté par le Sénat ; il reprend également, à quelques différences de rédaction près, le texte voté par l'ancienne Chambre réglant les droits respectifs des employés et salariés ; il accepte le texte du Sénat rejetant le cumul de la loi du 8 octobre 1919 et de la loi nouvelle prolongeant les brevets de cinq années, qu'avait adopté l'ancienne Chambre ; il supprime la Commission arbitrale spéciale chargée par le texte originaire de statuer tant sur les différends pouvant survenir entre employeurs et salariés, au sujet des droits sur les inventions intervenues au cours d'un louage de services, que sur les conditions d'attribution des licences obligatoires en cas d'inexploitation du brevet dans les délais légaux, etc...

Nous allons examiner succinctement ces divers points à la lumière des arguments fournis par le rapporteur.

Le projet voté par la Chambre en avril 1927, qui s'écartait du texte du Gouvernement présentait certaines dispositions qui avaient déterminé de très vives critiques, notamment les articles 3, 5, 33 à 35, 41, 46, 47 et 70.

Le Sénat avait modifié ou complètement transformé les dispositions des articles 3, 5, 33 à 35, 41 et 70.

Le nouveau projet, établi au nom de la Commission

(*) Fernand-Jacq ; Le projet de réforme de la loi sur les brevets d'invention. *Revue générale de l'Electricité*, 23 janvier 1926, t. XIX, p. 151-155.

Id. ; Le projet de réforme de la législation sur les brevets d'invention après le vote du Sénat. *Revue générale de l'Electricité*, 22 septembre 1928, t. XXIV, p. 449-455.

Id. ; La réforme de la législation sur les brevets d'invention. *Revue générale de l'Electricité*, 1er octobre 1927, t. XXII, p. 521-528.

du Commerce et de l'Industrie de la Chambre, adopte essentiellement, sinon le texte, tout au moins le sens des articles 3, 5 et 70 élaborés par le Sénat; par contre il revient sensiblement à l'ancienne rédaction pour les articles 33 à 35 et 41.

1. *Sur l'article 3 du projet.* — L'article 3 du projet, l'un des plus importants, énumère les procédés, moyens ou produits, qui ne sont pas susceptibles d'être brevetés; il envisage notamment et négativement la brevetabilité des produits chimiques.

C'est là une très grave et très importante innovation, par rapport tant au texte actuel de 1844, qu'au texte même du projet originaire du Gouvernement, qui accordait la brevetabilité aux procédés tendant à obtenir les produits pharmaceutiques.

Le projet voté par la Chambre en 1927 avait admis la brevetabilité du produit chimique défini mais avec un tempérament inséré dans le § 2 de l'article 25, qui consistait à imposer à l'inventeur du produit l'obligation de concéder une licence d'exploitation aux inventeurs de nouveaux procédés concourant à l'obtention du même produit.

Au Sénat, le rapporteur avait pris parti en faveur de la thèse allemande bien connue de la non-brevetabilité du produit chimique et avait conclu, avec l'aide d'une série impressionnante d'arguments, à la non-brevetabilité de tous les produits chimiques, thèse consacrée par le vote de la Haute Assemblée.

La Commission du Commerce et de l'Industrie, avant de prendre parti à nouveau, a tenu à procéder, en raison de l'importance économique de la question, à une enquête d'autant plus sérieuse qu'elle avait été saisie d'une pétition revêtue des noms de tous les grands fabricants de produits chimiques.

Elle reçut une délégation de l'Union des Industries chimiques qui, exprimant l'opinion unanime de ses commettants, soutint que la brevetabilité des produits chimiques porterait une atteinte décisive à l'industrie française et la mettrait dans une situation désastreuse en face des industries étrangères concurrentes et notamment des industries allemandes dont la prospérité était due, d'après eux, à sa législation.

La Commission du Commerce et de l'Industrie demanda en outre alors au directeur de l'Office des produits chimiques et pharmaceutiques de lui faire connaître son opinion sur une série de questions auxquelles ledit directeur, personnalité éminente et désintéressée, répondit dans le sens de l'Union des Industries chimiques.

L'Union des Syndicats d'Ingénieurs français qui avait jusqu'alors formulé comme un dogme la nécessité de breveter les produits chimiques, fut consultée à nouveau et mise en présence des arguments soutenus avec tant de vigueur et d'unanimité par l'Union des Produits chimiques; après un examen du problème posé devant elle avec tous ses éléments et constatations de ce fait que les brevets de procédé allaient prendre une extension considérable;

« Qu'ils deviendraient infiniment plus nombreux que les brevets de produit;

» Que pour un brevet de produit non protégé, des brevets de procédés multiples allaient sauvegarder les intérêts des inventeurs;

» Qu'au surplus, les ingénieurs trouveraient, dans une extension de l'industrie chimique française, des situations nombreuses et non pas limitées comme à l'heure actuelle »;

Et après qu'il lui eût été exposé que « l'industrie allemande occupait, dans certains de ses laboratoires, plusieurs milliers d'ingénieurs-chimistes, alors que l'industrie française chimique n'occupe dans ses laboratoires les plus importants que 100 ou 200 ingénieurs-chimistes »;

L'Union des Syndicats d'Ingénieurs français, à la demande du Syndicat des Ingénieurs-chimistes, déclara se rallier à la thèse de la non-brevetabilité des produits chimiques, et la Confédération des Travailleurs intellectuels approuva cette thèse.

En présence de ce mouvement d'opinion unanime renforcé par la conversion des anciens partisans de la brevetabilité des produits chimiques, la Commission du Commerce décida d'accepter la thèse du Sénat, qui avait été celle du Gouvernement, et reprenant purement et simplement le texte originaire du projet de celui-ci.

Faut-il regretter, malgré cette unanimité, l'exclusion de la brevetabilité des produits chimiques définis que rien ne jnstifie en soi? L'Association française pour la protection de la propriété industrielle l'a déclaré, tout en se ralliant au texte de la Commission de la Chambre, en raison de l'accord intervenu sur cette question fort importante entre le Gouvernement, la Chambre et le Sénat, sous la pression de l'opinion des intéressés, qui fait apparaître comme inévitable le vote de cette disposition.

2. *Sur l'article 5.* — En 1927, la Chambre des Députés avait admis un amendement de M. Borel destiné à réserver au véritable inventeur la délivrance du brevet, en spécifiant que toute fausse déclaration entraînerait la nullité du brevet, sans préjudice des dommages et intérêts qui pourraient être réclamés, cette nullité ne pouvant être réclamée que par l'inventeur ou ses ayants-droit, et l'action ne pouvant être exercée que pendant les trois années consécutives à la demande du brevet.

On avait vainement fait observer aux promoteurs de cette disposition que, loin de favoriser l'inventeur, elle serait susceptible de lui être néfaste, en supprimant le droit de transfert de l'invention avec ou sans indemnité, droit reconnu jusqu'ici au profit du véritable inventeur; on avait fait remarquer que chaque fois que l'inventeur établirait l'usurpation de son invention, il frapperait du même coup et immédiatement de nullité le brevet, sans avoir même la satisfaction de pouvoir obtenir une indemnité équitable compensatrice du préjudice subi, en raison de l'impossibilité où il

se trouverait de justifier alors de la valeur du brevet.

Le Sénat avait supprimé cette disposition inutile et dangereuse en dépit de l'excellente intention de ses promoteurs.

La Commission n'a pas osé suivre complètement le Sénat.

D'une part elle a substitué à l'ancienne rédaction, empruntée à la loi de 1844 : « quiconque voudra prendre un brevet d'invention » une rédaction plus exclusive « l'inventeur ou ses ayants droit qui voudront prendre un brevet d'invention » entendant marquer sa volonté de ne voir demander le brevet que par le véritable inventeur, d'autre part elle a maintenu l'action en nullité pour usurpation de demande de brevet, mais elle l'a assortie d'une action en subrogation, de sorte que le breveté pourra à son choix : ou demander la nullité du brevet usurpé comme dans son premier texte la Chambre l'avait prévu, en acceptant l'amendement Borel, modifié, ou en réclamer la subrogation.

Le maintien de l'action en nullité peut s'expliquer par des raisons de sentiment; il est à espérer que d'une façon générale l'action en subrogation, qui est seule susceptible de ménager utilement les intérêts de l'inventeur, sera retenue dans la pratique, de préférence à l'action en nullité, qui ne saurait donner à l'inventeur qu'une satisfaction toute morale à laquelle se mêlerait aussitôt l'amertume de la perte du brevet.

3. *Durée des brevets.* — La durée des brevets, portée de 15 à 20 ans par le texte même du Gouvernement, n'a subi aucune modification depuis et le projet actuel se contente de reprendre les textes précédemment admis sans difficulté.

4. *Sur les taxes.* — Les taxes, dont le principe a toujours été critiqué par les inventeurs, et qui théoriquement sont, en effet, inadmissibles, avaient été acceptées néanmoins, par la Chambre, qui, pour satisfaire à l'équité, avait spécifié que le dépôt d'un brevet donnerait lieu au paiement d'une taxe originaire et globale de 350 fr, dispensant de payer les annuités jusqu'à la 4e année, à partir de laquelle chaque année le titulaire du brevet reprendrait le paiement d'annuité de 300 fr, augmente chaque année progressivement de 50 fr.

La Commission du Commerce de la Chambre propose de maintenir le texte, admis tel quel par le Sénat et le rapporteur fait observer que la taxe de 350 fr est absolument indispensable pour le fonctionnement de l'Office de la Propriété industrielle et l'impression des brevets, que cette taxe globale vaut pour trois années, que par ailleurs une autre disposition, dont il sera parlé ci-après, institue le « petit brevet », que des délais de grâce prolongés de six mois à deux ans sont accordés par le projet, ainsi que la restauration même des brevets déchus pendant une période complémentaire de trois années, toutes innovations favorables à l'inventeur et qu'il paraît impossible d'accroître sous peine de rendre la réforme impossible.

5. *Représentants des inventeurs.* — L'article 6, s'inspirant des dispositions prises par de nombreuses législations étrangères récentes et en conformité d'ailleurs des demandes mêmes des principaux agents de brevets, prescrit que les personnes faisant profession de représenter les inventeurs auprès de l'Office national de la Propriété industrielle devront présenter un certain nombre de garanties, un décret étant prévu pour réglementer les conditions dans lesquelles ces mandataires seront admis à exercer leur profession.

Sur ce point encore le Sénat et la Chambre ont suivi, sans y apporter de changement, le texte originaire.

6. *Sur les articles 7 à 12.* — Les articles 7 à 11 ne présentent aucun intérêt spécial, du moins au point de vue où nous nous sommes placé dans cette étude.

L'article 12, réglementant les conditions de délivrance, ne modifie pas davantage les textes précédemment proposés et votés; mais il convient de rappeler qu'il maintient la faculté de surseoir à la délivrance, c'est-à-dire qu'il permet la conservation du secret du brevet pendant un an instituée par la loi du 7 avril 1902; il autorise la prise du « petit brevet », c'est-à-dire le dépôt d'une demande moyennant la consignation d'une somme de 50 fr seulement, le complément de la taxe prévue à l'article 4 pouvant être payé à l'expiration de l'année seulement, disposition particulièrement favorable aux petits inventeurs, qui avait fait l'objet d'une proposition de loi spéciale de M. Marcel Plaisant le 28 février 1924 incorporée ultérieurement dans le projet voté par la Chambre et maintenue par le Sénat.

Les articles 13 à 33 n'appellent aucune observation particulière en dépit de l'intérêt présenté par certaines dispositions nouvelles, mais en raison de ce qu'ils n'apportent aucun changement au texte précédemment voté.

7. *Modifications apportées aux articles 33 à 35.* — Les articles 33 à 35 par contre, qui traitent des droits des employés sur leurs découvertes, ont été l'objet, après une longue discussion, d'un nouveau changement en ce sens que la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre est revenu sensiblement au texte voté précédemment par la Chambre.

Le rapporteur, pour justifier cette manière de voir, a repris les arguments exposés antérieurement par M. Marcel Plaisant. Il a fait observer que la Commission avait tenu à inscrire en tête des textes le principe du droit de l'inventeur à l'invention, l'employeur n'en devant bénéficier qu'à titre exceptionnel, dans le cas seulement où les recherches, aboutissant à l'invention, constitueraient l'objet même d'un contrat de louage de services, ou auraient été tout au moins poursuivies avec les moyens mis à sa disposition par le patron, au

cours de son emploi ; le partage de la propriété de l'invention, dans certains cas, étant prévu ; au surplus et de toute façon, même lorsque l'employeur devrait bénéficier de l'invention, le nom de l'inventeur réel devrait toujours figurer sur la demande de brevet et être reproduit sur le fascicule ; enfin, l'employé ne trouvant pas dans son salaire un dédommagement suffisant au concours apporté par lui, une rémunération spéciale devrait lui être attribuée, en raison de l'avantage procuré à l'employeur par l'invention.

Le rapporteur du Sénat avait longuement expliqué les raisons pour lesquelles le Sénat n'avait pas pu suivre la Chambre et avait préféré revenir au texte du Gouvernement qu'il trouvait tout aussi favorable aux salariés inventeurs et plus logique dans sa construction.

La Commission du Commerce de la Chambre n'en a pas moins repris son ancien texte et il semble bien, somme toute, que sa rédaction, malgré les critiques du rapporteur du Sénat, soit préférable à celle proposée par le Sénat et antérieurement par le Gouvernement.

La Commission de la Chambre a d'autre part supprimé les dispositions de l'ancien article 33 qui ordonnaient, à défaut d'entente entre l'employeur et le salarié, le renvoi devant la Commission arbitrale prévue aux articles 46 et 47, pour fixer les droits respectifs de ceux-ci sur l'invention.

A la Chambre, lors de la première discussion, M. Puech avait critiqué la disposition renvoyant devant une Commission arbitrale spéciale pour définir les droits respectifs des patrons et des employés sur la découverte intervenue au cours d'un louage de services et trancher des questions de propriété, réservées en principe aux tribunaux civils.

Il avait fait observer que cette conception conduirait parfois à des situations très délicates, sur la portée et la nature desquelles nous nous sommes étendu nous-même dans une précédente étude, où nous sommes associé aux critiques de M. Puech.

La Commission s'est montrée d'accord avec le Sénat pour laisser aux tribunaux de droit commun le soin de trancher toutes les questions d'attribution de droits, qui sont normalement de leur compétence et pour l'appréciation desquels ces juridictions offrent plus de sécurité qu'une organisation de la nature de celle qu'avait prévue le texte originaire.

L'expérience faite, notamment en matière de prorogation de brevets d'invention, après la guerre, n'est pas de nature à encourager une nouvelle expérience.

En raison de la rédaction actuelle des articles 33 à 35, qui constitue en somme une transaction entre le texte originaire du Gouvernement, le texte voté ensuite par la Chambre et le texte modifié par le Sénat, transaction susceptible, à la suite des concessions respectivement consenties, de satisfaire tout le monde, on peut considérer le vote de ces dispositions comme assuré sous leur forme actuelle alors que l'on redoutait, sur ce terrain délicat, des difficultés graves contre les deux assemblées. Ce sera l'une des innovations les plus marquantes de la législation nouvelle.

8. *Modifications apportées à l'article 41.* — Les articles 39 à 45 inclus traitent des nullités et déchéances et des actions y relatives ; ces dispositions n'offrent rien de particulier, la Commission ayant accepté, pour les articles 36 à 40, le texte du Gouvernement.

Par contre, l'article 41 revêt une importance exceptionnelle : il reprend, tout en tenant compte de certaines dispositions votées par le Sénat, la plupart de celles antérieurement votées par la Chambre, mais en y introduisant des tempéraments ou des innovations ; il admet à nouveau le principe de la restauration, qui, s'il est admis par le Parlement, constituera un événement en quelque sorte sensationnel dans notre législation.

En effet, le projet de la Commission, porte non seulement le délai de grâce pour le paiement des annuités, qui était jusqu'alors de trois mois, à deux années, mais il y ajoute la restauration des brevets déchus faute de paiement des annuités, qui peut être demandée pendant les trois années suivant l'expiration du délai de deux ans précité, de telle sorte qu'au total, un délai de cinq années serait accordé à l'inventeur pour payer les annuités échues.

Si l'augmentation du délai pour le paiement des annuités a trouvé un écho favorable dans tous les milieux, et si le Sénat avait lui-même décidé d'augmenter le délai actuel de quinze mois, c'est-à-dire de le porter de trois mois à dix-huit mois, par contre la question de la restauration avait soulevé et soulève encore de nombreuses discussions et des critiques qui tendent d'ailleurs à s'apaiser.

Aux termes de l'article 41 voté par la Chambre, le breveté qui n'avait pas acquitté son annuité, lors de l'échéance, bénéficiait d'un délai supplémentaire de six mois pour en effectuer le règlement, avec pénalité de 10 fr ; d'autre part, s'il justifiait des causes de son inaction, passé ce délai, il pouvait pendant trois ans, à dater de la déchéance encourue, présenter requête au ministre pour relever son brevet de la déchéance en versant une taxe égale au quintuple du montant total des annuités dues aux dates anniversaires du dépôt du brevet et non acquittées ou payées irrégulièrement.

Cette disposition avait été votée à une faible majorité et le Sénat ne l'avait reprise que pour la modifier considérablement.

En effet, le texte adopté par la Haute Assemblée, s'il admettait un premier délai de grâce de six mois, moyennant le versement d'une taxe supplémentaire de 10 fr « par mois de retard », et si en outre il accordait un délai de grâce supplémentaire d'une année, moyennant le paiement, au tarif double, de l'annuité omise, il rejetait la disposition consacrant la restauration des brevets votés par la Chambre.

Le rapporteur, M. Roy, avait longuement motivé, au cours de son rapport, l'hostilité de la Commission

du Sénat contre le principe même de la restauration, à laquelle il reprochait d'être une cause de trouble pour l'industrie, malgré la réserve du droit des tiers inscrite dans le texte voté par la Chambre.

En comparant les dispositions législatives en la matière des différents pays, il indiquait que la restauration des brevets d'invention, faute de paiement des annuités, n'était admise que par quelques législations seulement et soumise à des conditions destinées à la rendre toujours exceptionnelle.

Depuis le vote du Sénat, une campagne ardente et persévérante a été entreprise par un ingénieur-conseil, M. Ch. Weismann, qui a pris l'initiative d'une pétition en faveur de l'institution en France de la restauration des brevets déchus faute de paiement des annuités; cette pétition a recueilli plusieurs centaines de signatures d'inventeurs, de savants, d'industriels et de juristes, et, parmi ces signatures, celles d'adversaires originaires à la restauration, et notamment de membres du Comité technique de la Propriété industrielle, dont le vote en 1926 avait été hostile au projet spécial de restauration, déposé par M. Marcel Plaisant à la Chambre des Députés.

Nous-même, originairement hostile, nous nous sommes rangé parmi les adhérents au principe de la restauration, mais toutefois sous certaines réserves, qui nous ont paru indispensables, et moyennant lesquelles, par ailleurs, le système de la restauration, équitable en lui-même, en ce qu'il vise essentiellement le cas d'inventeurs n'ayant pu payer en temps utile, par suite d'impécuniosité ou d'incompréhension des industriels sollicités, les annuités de leurs brevets, ne nous paraît pouvoir présenter aucun inconvénient majeur.

Nous nous sommes ainsi rallié aux partisans de la restauration, à la condition « que tous les tiers justifiant d'une exploitation en France de l'invention pendant la période de domaine public, puissent continuer à utiliser l'invention sans exception ni réserve, tant par eux-mêmes que par leurs concessionnaires, ayants droit, héritiers, sous-traitants, agences, filiales, etc., en France et sans que l'extension donnée à leur exploitation puisse être discutée. »

Il va de soi que si les droits, acquis par les tiers pendant la période au cours de laquelle le brevet était tombé dans le domaine public, sont respectés, il n'y a aucun inconvénient à autoriser le breveté, qui n'a pu payer en temps utile ses annuités parce qu'à cette époque il n'en avait pas le moyen et ne pouvait obtenir qu'on exploitât son invention, à reprendre possession de ses droits privatifs à l'égard de tous autres que ceux qui auront pu commencer l'exploitation de bonne foi.

Ces exploitants seront dans la situation de licenciés à titre gratuit du breveté et auront l'avantage de pouvoir continuer leur exploitation comme si le brevet n'avait pas été remis en vigueur avec, en outre, le privilège d'être assurés contre toute concurrence nouvelle, sauf celle de l'auteur de l'invention.

Nous estimons qu'il est nécessaire, pour sauvegarder des droits acquis de bonne foi, de spécifier que les bénéficiaires de ces droits pourront développer leur exploitation, étendre leurs moyens, sans risquer d'être recherchés par le breveté sous des prétextes divers, de manière à éviter ainsi toute une source de litiges.

A vrai dire, le nouveau texte de la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre a été moins explicite que nous l'aurions désiré puisqu'il se contente, comme l'ancien texte, de « réserver les droits des tiers ».

Ce nouveau texte est ainsi conçu :

« Le breveté ou ses ayants droit, qui n'aura pas effectué régulièrement les versements dans les délais de grâce ci-dessus prévus, pourra, pendant trois ans à dater de la fin des délais précédents, obtenir la restauration dans ses droits de breveté dans les conditions suivantes :

a) Il présentera requête au tribunal civil de son domicile, qui statuera en Chambre du Conseil, l'intéressé seul ou assisté de son conseil, étant entendus;

b) Il justifiera que c'est par une circonstance indépendante de sa volonté que les versements n'ont pu être effectués dans les délais ci-dessus fixés;

c) Il versera une taxe égale au quintuple du montant total des annuités dues aux dates anniversaires du dépôt du brevet et non acquittées ou payées irrégulièrement;

d) Il pourra interjeter appel dans le délai d'un mois à dater du jugement de rejet, par simple déclaration faite au greffe du Tribunal civil qui aura rendu le jugement et la Cour, saisie par les soins de l'appelant, statuera dans le délai de deux mois. Faute par l'appelant de saisir la Cour dans le délai ci-dessus fixé, il sera considéré comme déchu de ses droits.

La restitution de l'inventeur dans ses droits produira ses effets à partir de la date du paiement, sous réserve du droit des tiers. »

Le rapporteur justifie d'autre part, comme suit, la modification apportée aux textes précédents par la Commission du Commerce et de l'Industrie, en rejetant par ailleurs la proposition de M. Ch. Weismann de restauration automatique en fonction de la délivrance sans examen en France des brevets et pendant toute la durée légale de ceux-ci.

« Il a semblé à la Commission qu'il était nécessaire de permettre au breveté ayant perdu ses droits dans des conditions spéciales, de recouvrer au moins une partie de ses droits, cela par ladite restauration, laquelle ne lui sera permise que dans des conditions très spéciales.

» Quelles seront en effet, les formalités qu'il aura à remplir et les justifications qu'il devra fournir?

« 1° Il devra exposer, dans une requête au président du Tribunal civil, les causes de son inaction. Il ne devra pas seulement y constater qu'il a oublié la date du paiement de ses annuités, il faudra qu'il justifie que

ce non-paiement n'a eu lieu que par suite de circonstances indépendantes de sa volonté.

» La discussion a précisé quelques-unes de ces circonstances, notamment maladie grave, voyage en mer, absence, sinistre et, enfin, manque d'argent ou situation précaire avérée le mettant dans l'obligation de choisir entre les nécessités premières de l'existence et le paiement de ses annuités.

» Toute cette énumération n'est faite qu'à titre énonciatif et non pas limitatif et pour bien préciser qu'il ne s'agira pas d'un cas de force majeure, mais qu'un simple cas d'excuse valable suffira pour obtenir la restauration. Le président du Tribunal sera toujours libre de son appréciation.

» Il a semblé à votre Commission que l'inventeur devait être autorisé à redonner la vie à son brevet et, par conséquent, à empêcher sa libre exploitation par tous, sans profit aucun pour lui-même.

» Votre Commission a pourtant inséré, comme la Chambre précédente, une réserve à l'exercice de ce droit ; elle limite les effets de la restauration du brevet aux tiers qui ne l'ont pas encore exploité au moment de sa restauration ; mais tous ceux qui ont commencé à l'exploiter depuis sa déchéance, quand ce ne serait que par l'établissement de dessins, conservent, même à l'encontre du brevet restauré, les droits qu'ils ont pu acquérir entre la date de la déchéance et la date de la restauration.

» M. Weismann, à l'instigation de qui M. Marcel Plaisant avait déposé sa propositien de loi (n° 3180 du 9 juillet 1926) tendant à l'institution de la restauration (qui existe en Grande-Bretagne depuis 1907 et en Allemagne depuis 1916, pays où elle donne lieu à un examen préalable identique à celui auquel sont soumises les demandes de brevets) allait bien au delà de ces dispositions, mais la Commission n'a pas voulu le suivre jusque-là.

» La partie générale du présent rapport reproduit sa pétition — signée de tous les grands noms de l'industrie, de la science et du barreau français — par laquelle est sollicitée la possibilité, de restaurer les brevets *automatiquement* (donc sans avoir besoin de justifier aucunement des causes de l'inaction) et cela *pendant toute la durée du brevet.*

» Depuis la signature de sa pétition, M. Weismann, allant plus avant encore dans ses idées, demande que soient exclus, des « tiers ayant commencé à exploiter », ceux auxquels l'inventeur s'était adressé avant de se résoudre, fatigué par l'insuccès de ses démarches, à laisser tomber son brevet.

» Il est évident que cette solution aurait pour elle l'avantage de l'équité ».

Le texte de la Commission du Commerce est assuré d'une forte majorité à la Chambre et même au Sénat cette fois une majorité importante devrait être acquise à la restauration.

Nous laisserons volontairement de côté les discussions auxquelles ont donné lieu, depuis deux ans, la question de la restauration des brevets et la campagne faite en sa faveur par M. Ch. Weismann.

Nous entendons nous placer à un point de vue purement objectif et ne considérer, en la circonstance, que ce que nous croyons juste et équitable ; l'avenir seul pourra dire qui avait tort ou raison des adversaires ou des partisans de la restauration.

En plus du rétablissement du principe de la restauration des brevets, le nouveau texte augmente le délai de grâce adopté par le Sénat, en le portant à dix-huit mois en plus des six mois prévus par le texte de la Chambre de 1927, de sorte que le délai, pour payer les annuités en retard, serait dorénavant de deux années, tandis que d'autre part la restauration pourrait être réclamée pendant les trois années qui suivraient, portant ainsi effectivement le délai accordé à l'inventeur pour payer les taxes de son brevet, à cinq années comme nous l'avons déjà fait remarquer.

Comme l'article 4 dispense le breveté d'effectuer le paiement des annuités pendant les trois premières années, en raison du versement de la taxe initiale de 350 fr, le breveté jouirait en réalité d'un répit de huit années pour payer les annuités du brevet, ce qui constituerait pour lui un avantage considérable et devrait mettre à même tous les inventeurs, quels qu'ils soient, d'assurer la mise en œuvre de leur invention en temps utile, ou de renoncer sans amertume à y parvenir, l'expérience prouvant que, dans l'immense majorité des cas tout au moins, les brevets qui n'ont pas pu être exploités au bout de cinq à huit ans, ne couvrent des revendications sans portée et sans valeur pratique, auxquelles le breveté devrait, par la force des choses, de toute façon renoncer avant l'expiration de ce déjà long délai.

On peut donc dire que le nouvel article 41 consacre la réforme la plus importante en faveur de l'inventeur que contienne le texte; si cet article est admis tel quel à des différences de rédaction près par le Sénat et par la Chambre, les associations d'inventeurs auraient mauvaise grâce à se plaindre de l'insuffisance de la loi nouvelle sous prétexte que d'autres réformes, qui leur paraissaient légitimes et même indispensables, ont été rejetées par le projet pris par le législateur.

Le mieux est l'ennemi du bien et il faut se contenter, pour aboutir, d'une sage évolution lorsque celle-ci consacre des avantages substantiels.

•

9. *Réformes relatives à la déchéance des brevets.* — Le Sénat n'avait pas apporté de modifications appréciables aux articles 42 à 55 du projet de la Chambre concernant les actions en nullité et en déchéance ; le projet actuel de la Commission du Commerce de la Chambre n'a donc pu que constater l'accord des deux assemblées sur cette partie du projet.

Le Sénat n'avait pas davantage modifié l'article 40 qui, dans le projet de la Chambre, comme dans le projet initial du Gouvernement, constituait l'une des plus importantes réformes envisagées par la loi nouvelle, la substitution de la licence obligatoire

à la déchéance pure et simple faute d'exploitation.

On sait qu'à la suite d'un mouvement déjà ancien et devenu irrésistible dans tous les pays, la déchéance brutale du brevet, encourue faute d'exploitation effective, c'est-à-dire de fabrication de l'objet breveté dans les trois années suivant le dépôt de la demande de brevet, tend à disparaître pour être remplacée par l'obligation pour le breveté d'accorder des licences d'exploitation à tous requérants. Cette mesure est plus équitable que la déchéance sans rémission du brevet inexploité par l'inventeur, qui souvent ne peut justifier valablement des causes de son inaction sans être pour cela réellement coupable de négligence concédée.

La Conférence de La Haye de 1925, à la quasi unanimité des pays signataires, s'est prononcée en faveur de la substitution de la licence obligatoire à la déchéance pure et simple et le nouveau texte, ratifié à l'heure actuelle par quatorze pays, a fait passer cette réforme dans le domaine international.

Le projet actuel a pour objet dans son article 46 de mettre notre législation en harmonie avec le nouveau texte de la Convention internationale. Aussi, aucune difficulté n'est apparue entre le Gouvernement et les deux assemblées pour substituer à la déchéance faute d'exploitation, si justement critiquée, le système de la licence obligatoire.

La seule innovation que présente le texte adopté par la Commission du Commerce et de l'Industrie de la Chambre par rapport à l'ancienne rédaction de l'article 46, proposé originairement par le Gouvernement et modifié, sur des points secondaires seulement d'ailleurs, par la Chambre en 1927, et le Sénat ensuite, consiste dans la suppression de la Commission arbitrale et son remplacement par le Tribunal de droit commun, c'est-à-dire le Tribunal civil, conformément à la décision, commentée par le rapporteur au pied de l'article 33, de réserver autant dans l'intérêt de l'inventeur que pour satisfaire à la logique, la compétence de tous les litiges, intéressant à un titre quelconque les brevets d'invention, aux Tribunaux civils.

Ce système est plus judicieux que le régime mixte envisagé originairement par le Gouvernement, qui était susceptible, comme l'avait démontré notamment M. Puech, lors de la première discussion de la Chambre des Députés, d'aboutir à des situations insolubles, lorsqu'à l'occasion, par exemple, d'attribution de licence obligatoire ou de détermination des droits respectifs des employés et des patrons, des questions de validité de brevet, de déchéance ou de nullité, de revendication par des tiers, de transfert, etc., se trouveraient invoquées, les unes étant de la compétence du Tribunal civil et les autres pouvant être déférées à la Commission arbitrale prévue.

Il faut donc louer la Commission du Commerce d'avoir supprimé un système aussi confus, qui était susceptible de mettre parfois l'inventeur dans une situation difficile, alors que le but des partisans de l'institution d'une Commission arbitrale était précisément de le favoriser.

Aux termes du nouvel article 46, il est prévu qu'à défaut d'entente entre le breveté qui n'a pas exploité dans les délais, et n'a pas justifié des causes de son inaction, les conditions d'attribution des licences obligatoires seront fixées par le Tribunal civil du domicile du titulaire du brevet, statuant en Chambre du Conseil.

Il est spécifié que le demandeur d'une licence devra, à cet effet, dans le délai d'un mois après une mise en demeure restée sans effet, en saisir par voie de requête le président du Tribunal ; que la requête sera dénoncée au breveté dans un délai de quinze jours.

Le Tribunal, après avoir entendu le demandeur en licence, le breveté ou ses conseils, dans leurs explications, ou eux dûment appelés, appréciera les causes d'inaction du breveté et, s'il y a lieu, les garanties présentées par le demandeur de licence au point de vue de l'exploitation à entreprendre dudit brevet, statuera sur la demande de licence et en fixera, le cas échéant, les conditions.

L'article 47, qui complète le précédent, ne subit, lui aussi, d'autre transformation que celle nécessitée par la substitution du Tribunal civil à la Commission arbitrale précédemment envisagée.

Quant aux articles 48 et 49, visant l'expropriation par l'Etat des brevets, ils ne présentent par rapport au texte du Sénat (qui avait restreint aux seuls besoins de la défense nationale, le droit exceptionnel d'expropriation concédé à l'Etat), que les modifications nécessitées également par la substitution à la Commission arbitrale, antérieurement prévue, du Tribunal civil.

La procédure d'expropriation comportera ainsi plusieurs phases. L'expropriation, tout d'abord, ne pourra avoir lieu qu'au cours des trois premières années et encore seulement pour les inventions concernant la défense nationale. Le décret d'expropriation entraînera des concessions totales ou partielles du droit exclusif d'exploitation. Il sera précédé d'un avis fourni, par une Commission dont la composition est prévue par le troisième alinéa de l'article lui-même dont il s'agit. Une indemnité sera fixée de gré à gré ou, en cas de désaccord, par le Tribunal, dans les termes de l'article 46. Enfin, si le ministre ne veut pas conserver le bénéfice de l'expropriation, il pourra y renoncer à charge de verser une indemnité en cas de préjudice.

10. *Modification de l'article 50 concernant la répression de la contrefaçon.* — Les articles 50 à 61 concernant la répression de la contrefaçon et les poursuites n'ont pas subi de modifications appréciables.

Dans l'article 50, l'innovation proposée par le Gouvernement et acceptée par la Chambre et le Sénat concernant l'introduction de la bonne foi, comme élément exclusif du délit, a été maintenue, étant entendu que, même en cas de bonne foi établie, le Tribunal correctionnel pourrait statuer sur les réparations civiles en cas de contrefaçon reconnue.

Il convient de remarquer aussi que la Commission du Commerce a maintenu la disposition introduite par le Sénat dans l'article 50 in fine, qui est destinée à faire échec à une jurisprudence, aussi regrettable que d'ailleurs très juridiquement justifiée, mais qui empêchait le licencié, non seulement d'agir contre le contrefacteur, mais même d'intervenir dans l'instance ouverte par le breveté, et aux côtés de celui-ci.

Ce texte, qui est dû à l'initiative de l'Association française pour la protection de la Propriété industrielle est ainsi conçu : « les concessionnaires de droits d'exploitation pourront toujours intervenir dans l'instance introduite par le propriétaire du brevet pour obtenir la réparation du préjudice qui aurait pu leur être causé par la contrefaçon ».

11. *Sur les articles 62 à 71 concernant des dispositions diverses et transitoires.* — Les articles 62 à 71 et derniers de la proposition de loi concernent des dispositions particulières et transitoires.

Il n'y a, à proprement parler, à signaler ici que l'article 70 qui a été l'objet entre le Gouvernement, la Chambre des Députés et le Sénat d'appréciations divergentes à l'occasion de 15 à 20 ans des brevets et de l'exclusion du bénéfice de cette prolongation de divers brevets.

Aux termes de l'article 70, paragraphe 3, voté par la Chambre des Députés en 1927, les brevets, dont les quinze annuités avaient été précédemment acquittées, conservaient leur durée de quinze ans, à moins que leurs titulaires ne réclamàssent, dans le délai d'un an à partir de la promulgation de la loi, le bénéfice de la prolongation de la durée du brevet à vingt années. Dans ce cas, ils avaient à acquitter, à l'échéance des annuités postérieures à la mise en vigueur de la loi, la différence entre le montant de l'annuité calculée d'après le tarif fixé à l'article 4 et la somme précédemment versée.

Les brevets dont la durée avait été prolongée par application de la loi du 8 octobre 1919 conservaient le bénéfice de cette prolongation, laquelle se cumulait ainsi avec celle résultant de la loi elle-même.

Cette disposition était conforme à l'ancien texte du Gouvernement, modifié par la Commission de la Chambre par l'incorporation dans ledit texte d'un amendement présenté par M. Rognon. Le Sénat avait trouvé équitable cette disposition et l'avait reproduite telle quelle.

La Commission du Commerce de la Chambre est revenue net à son ancien texte et s'est prononcée cette fois contre le cumul admis par le Sénat en le justifiant de la façon suivante :

« La Chambre précédente, remarque M. Boucheron, avait admis la prolongation de cinq ans pour tous les brevets, même pour ceux qui avaient bénéficié de la prolongation édictée par la loi du 8 octobre 1919; elle donnait donc, dans son texte précédent, la durée légale de quinze ans, plus la durée de prorogation accordée en vertu de la loi du 8 octobre 1919 et qui pour certains brevets atteint huit ans; et elle accordait, en outre, la prolongation de cinq ans du projet actuel; si bien qu'on aboutissait à des brevets qui pouvaient avoir une durée de vingt et un à vingt-huit ans.

» Le Sénat, en cours de séance, adoptait un amendement de M. Joseph Courtier, qui bouleversait complètement les dispositions votées par la Chambre et qui aboutissait au texte du projet actuel du Gouvernement.

» Selon ce texte, tous les brevets n'ayant pas atteint leur durée légale de quinze ans, de la loi de 1844 au moment de la mise en vigueur de la présente loi, bénéficiaient du délai supplémentaire de cinq années et de la prolongation de la loi du 8 octobre 1919, qui avait pu leur être accordé et tous ceux qui, au contraire, auraient été, au moment de la mise en vigueur de la présente loi, en cours de prorogation mais auraient dépassé ladite durée légale de quinze ans, ne pouvaient pas cumuler cette prolongation avec la nouvelle durée supplémentaire de cinq ans.

» Toutefois, les titulaires des brevets d'invention bénéficiant du cumul eussent été tenus d'accorder des licences d'exploitation à partir de la vingt-et-unième année.

» La Commission du Commerce mieux informée, après avoir discuté longuement la question, propose à la Chambre, par la suppression des deux derniers alinéas de l'article 70 du projet, la suppression de tout cumul. Les brevets qui auront bénéficié des dispositions de la loi du 8 octobre 1919 ne pourront, d'après le texte proposé, bénéficier de l'augmentation de cinq années du projet actuel.

» Depuis 1925, la question a perdu une grande partie de son intérêt, un grand nombre de brevets bénéficiaires de la loi du 8 octobre 1919 étant actuellement tombés dans le domaine public.

Nous devons déclarer que nous ne sommes pas convaincu par les raisons données par le rapporteur, qui a exprimé en la circonstance l'opinion dominante de la Commission, et nous trouverions plus équitable que la Chambre revienne au système du cumul préconisé par elle antérieurement et le Sénat, ainsi que l'a toujours estimé d'ailleurs, et tout récemment encore, l'Association française pour la protection de la Propriété industrielle.

Cette mesure, il est vrai, ne devrait profiter qu'à un nombre très restreint de brevets, mais précisément, si le nombre en est peu élevé, il n'y a pas d'inconvénient à accorder aux quelques bénéficiaires un avantage qui satisfait aussi la raison.

III. **Conclusion**. — Telles sont, examinées en raccourci, et en fonction des textes antérieurement votés, les dispositions les plus caractéristiques de la proposition de loi qui va servir de base à une nouvelle discussion, que l'on espère prochaine, que l'on souhaite rapide et, par suite, soucieuse de n'apporter au texte que des changements insignifiants, afin d'assurer,

dans un délai raisonnable, la transmission au Sénat et le vote par celui-ci en temps utile d'une loi que, depuis de longues années toute l'industrie attend, et que les inventeurs, en raison des nombreux avantages qu'elle leur apporte, devraient accueillir avec empressement. Même si elle ne doit pas leur donner une complète satisfaction, ils devront ne pas oublier que suivant le proverbe français : « Qui trop embrasse, mal étreint ».

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, Avocat à la Cour de Paris, Examinateur à l'Ecole des Hautes Etudes commerciales.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêté modifiant l'arrêté du 30 avril 1927 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

Voici le texte de cet arrêté, en date du 20 novembre 1929 et publié au « Journal officiel » du 12 décembre, page 13309.

Le ministre des Travaux publics et le ministre des Postes, Télégraphes et Téléphones,

Vu la loi du 15 juin 1906 (modifiée et complétée par les lois des 19 juillet 1922, 27 février 1925 et 13 juillet 1925, art. 98) sur les distributions d'énergie et notamment l'article 19 ;

Vu l'arrêté interministériel en date du 30 avril 1927 ;

Vu les avis du Comité d'Electricité en date des 8 mars 1927 et 19 juillet 1929 ;

Sur la proposition du conseiller d'Etat, directeur de la Voirie routière, des Forces hydrauliques et des Distributions d'énergie électrique,

Arrêtent :

Les textes des articles 49, paragraphe 4 ; 50, paragraphes 2 et 3, et 68, paragraphes 2 et 3 de l'arrêté technique du 30 avril 1927 (1) sont remplacés par les suivants :

ART. 49. — . . . . . .

§ 4. — Les passages ménagés pour l'accès aux machines et appareils placés à découvert ne peuvent avoir moins de 2 m de hauteur ; leur largeur, mesurée entre les machines, conducteurs ou appareils eux-mêmes aussi bien qu'entre ceux-ci et les parties métalliques de la construction, ne doit pas être intérieure à 1 m.

Toutefois, lorsque les machines, conducteurs ou appareils sont protégés par un grillage ou par un écran placé à la distance horizontale des conducteurs nus fixée à l'article 50, paragraphe 2, et régnant sur 2 m au moins de hauteur, ou sur toute la hauteur libre, si elle est inférieure à 2 m, la largeur des passages d'accès ménagés entre les grillages ou les écrans eux-mêmes aussi bien qu'entre ceux-ci et les parois de la construction peut être réduite à 80 cm.

Dans les installations existantes où cette largeur est irréalisable, elle peut, en attendant leur reconstruction, être réduite à 75 cm, sous réserve que cette réduction de largeur ne se produise que sur des longueurs ne dépassant pas 30 cm.

ART. 50. — . . . . . .

§ 2. — Les canalisations nues doivent être protégées par un grillage ou par un écran placé à une distance qui, en aucun cas, ne pourra être inférieure à 30 cm.

Cette protection sera établie pour toutes parties de canalisations dont la distance, par rapport au sol, plancher ou passage, ne sera pas supérieure à 2 m.

Toutefois, pour les installations existantes où cette distance de 30 cm est irréalisable, elle pourra, en attendant leur reconstruction, être réduite à 10 cm, si la tension des conducteurs, telle qu'elle est définie à l'article premier, ne dépasse pas 4000 v ; à 15 cm, si la tension excède 4000 v sans dépasser 10000 v, et à 20 cm si la tension excède 10000 v sans dépasser 20000 v.

§ 3. — La largeur des passages d'accès ménagés entre les grillages ou écrans eux-mêmes aussi bien qu'entre ceux-ci et les parois de la construction ne doit pas être inférieure à 80 cm.

Cependant, dans les installations existantes où cette largeur est irréalisable, elle peut, en attendant leur reconstruction, être réduite à 75 cm, sous réserve que cette réduction de largeur ne se produise que sur des longueurs ne dépassant pas 30 cm.

ART. 68. — . . . . . .

§ 2. — Les canalisations nues doivent être protégées par des garde-corps placés à une distance horizontale minimum en rapport avec la tension, mais jamais inférieure à 2 m.

U étant la tension telle qu'elle est définie à l'article premier, exprimée en kilovolts, lorsque la valeur du produit $1{,}73\ U$ ne dépasse pas 100, la protection peut être réalisée, au lieu de garde-corps, par des grillages ou écrans, à condition que la distance minimum entre les canalisations nues et les grillages ou écrans, exprimée en centimètres, soit au moins égale à $1{,}73\ U$.

Lorsque ces canalisations sont situées dans un plan horizontal, et qu'elles sont établies au-dessus d'un endroit accessible (tel que passage d'accès, passerelles, etc.), leur hauteur, par rapport à celui-ci, devra être en rapport avec la tension sans jamais être inférieure à 4 m.

§ 3. — La largeur des passages d'accès, ménagés entre les garde-corps eux-mêmes aussi bien qu'entre ceux-ci et les parois de la construction, ne doit pas être inférieure à 1 m. En cas d'emploi de grillages ou écrans comme dispositifs de protection, le minimum de largeur est fixé à 80 cm.

Fait à Paris, le 20 novembre 1929,

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1501 des « Débats parlementaires, Sénat » la question et la réponse qui suivent :

9558. — M. Bersez, sénateur, demande à M. le ministre du travail à quelle caisse doit incomber la charge des prestations nécessitées par les membres non salariés d'une famille lorsque les membres salariés de cette famille sont inscrits à différentes caisses primaires de répartition, mutualistes, syndicales, agricoles, etc. (Question du 26 juillet 1929).

Réponse. — Lorsque des enfants non salariés seront susceptibles d'avoir droit aux soins médicaux et pharmaceutiques à la fois du chef de leur père et du chef de leur mère, tous deux assurés, mais affiliés à des caisses différentes, il semble que les deux caisses soient tenues d'assurer

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 24 septembre 1927, t. XXII, p. 473-488.

ces soins. Mais comme les prestations susvisées ne sauraient être cumulées, il appartiendra auxdites caisses de passer entre elles des conventions en vue de régler les conditions dans lesquelles seront dispensés les soins aux intéressés et sera répartie entre elles la charge correspondante. Des clauses pourront être introduites à cet effet dans les statuts des unions de caisses.

9559. — M. Bersez, sénateur, demande à M. le ministre du Travail si le délai de deux mois, accordé par l'article 26, paragraphe 3, de la loi sur les assurances sociales à l'assuré mutualiste pour faire connaître la désignation contraire à son inscription d'office à la caisse primaire choisie par sa société de secours mutuels, part du 5 août 1929 ou du 5 février 1930; si l'adhésion formelle donnée par l'assuré mutualiste, dans ledit délai, à une caisse primaire autre que celle choisie par la société de secours mutuels et sans prévenir celle-ci, est suffisante pour valoir annulation de l'inscription faite par présomption d'affiliation; ou bien si l'assuré est dans l'obligation, malgré cette adhésion formelle, de faire connaître à l'office sa volonté de renoncer à l'affiliation imposée par présomption. (Question du 26 juillet 1929.)

Réponse. — Le délai de deux mois accordé à l'assuré faisant partie d'une société de secours mutuels pour faire connaître sa volonté de renoncer à la présomption d'affiliation établie par l'article 26, paragraphe 3 de la loi du 5 avril, a son point de départ au 5 novembre 1929, date à laquelle a été prorogé par la loi du 5 août 1929 le délai de six mois avant la mise en application de la loi, fixé par l'article 26, paragraphe 3, précité.

Aux termes de l'article 26, paragraphe 3, du règlement d'administration publique du 30 mars 1929, la présomption d'affiliation s'applique aux mutualistes qui, remplissant les conditions requises en vue du jeu de cette présomption, « n'auraient pas fait connaître, dans un délai de deux mois, à l'office dans la circonscription duquel ils travaillent, leur volonté de renoncer à cette affiliation ». Cette disposition implique de la part de l'assuré une manifestation expresse de volonté, qui ne saurait être remplacée par aucune renonciation tacite et notamment par l'adhésion donnée à une autre caisse primaire, en dehors de toute notification à l'office.

Sur les droits de patente appliqués aux entreprises d'électrification rurale.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1044 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9313. — M. Albert Fouilloux, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si la patente supplémentaire prévue par la loi de 1880 est applicable aux entreprises d'électrification rurale subventionnées par l'Etat et les départements; si ces travaux ne doivent pas être considérés comme d'utilité publique ; si l'application de cette patente est générale et toutes lesdites entreprises y sont astreintes, afin de pouvoir soumissionner sur un pied d'égalité ; quelle est, dans ce cas, la situation d'un entrepreneur qui a soumissionné sans être averti ; si l'application peut avoir un effet rétroactif, en ce qui concerne la taxe de 0,30 pour 100 en principal, sur des marchés adjugés et en cours d'exécution. (Question du 26 mars 1929.)

Réponse. — Les travaux d'électrification rurale effectués pour le compte de communes ou de syndicats de communes ont en raison de leur destination d'utilité générale, le caractère de travaux publics. Les entrepreneurs qui se chargent de leur exécution sont, par suite, passibles des droits spéciaux de patente que comporte la profession d'entrepreneur de travaux publics et dont le montant en principal est réglé à raison de 0,30 fr par 100 fr du montant des marchés. Ces droits sont applicables à tous les entrepreneurs qui effectuent des travaux de la nature de ceux dont il est question, nonobstant la circonstance que les intéressés auraient omis d'en tenir compte dans l'établissement de leurs prix. Ils sont calculés, chaque année, d'après le montant des travaux exécutés dans la même année. Toutefois, le tarif légal prévoit que si le prix réel alloué à l'entrepreneur dépasse de plus de 2 000 fr le montant total des travaux imposé pour l'entreprise, un complément de droit peut valablement être établi jusque dans l'année qui suit celle du règlement définitif du prix des travaux.

Sur l'impôt frappant le revenu des actions reçues par une société en rémunération d'apports faits à une autre société.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1048 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9547. — M. Meunié, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si les intérêts et dividendes afférents aux parts sociales reçues par une société civile en représentation d'apports en nature faits à une société à responsabilité limitée, qui, dans celle-ci, ont subi par le fait de leur répartition la taxe sur le revenu et sont ainsi tombés, pour leur montant net, dans la société civile, doivent, lorsque cette société civile répartira ses bénéfices, subir, dans la mesure où ils y sont entrés, une seconde fois la taxe de 18 pour 100 ; même question pour une société anonyme qui a reçu des actions d'une autre société à responsabilité limitée en représentation anonyme, ou des parts sociales d'une société d'apports en nature, et pour une société à responsabilité limitée qui a reçu des parts sociales d'une autre société à responsabilité limitée ou des actions d'une société anonyme en représentation d'apports en nature. (Question du 22 juillet 1929.)

Réponse. — Une société qui a encaissé des bénéfices en qualité de membre d'une autre société, doit acquitter l'impôt sur ces bénéfices lorsqu'elle les répartit entre ses propres membres, encore, bien qu'elle ait supporté la taxe pour son compte personne, lors de la distribution qui les a fait entrer dans son patrimoine particulier.

Les seules dérogations admises, sur ce point, au droit commun, sont celles prévues par les articles 27 de la loi du 31 juillet 1920, modifié par l'article 25 de la loi du 30 mars 1929, et 4 de la loi du 31 juillet 1929, qui ne peuvent s'appliquer en dehors du cas expressément prévu où des deux sociétés, mère et filiale, sont constituées par actions.

Sur l'impôt frappant les plus-values des valeurs mobilières possédées par une société.

Le « Journal officiel » du 23 octobre 1929 publie, page 1044, des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9349. — M. Anatole Manceau, sénateur, demande à M. le ministre des Finances si une société possédant, en éléments d'actif, des titres en portefeuille, portés dans un bilan précédent au cours d'achat, peut valoriser ces titres au cours de bourse, sans les réaliser, dans l'établissement de son prochain bilan, et si la plus-value de cette valorisation est passible de la cédule sur les bénéfices industriels et commerciaux, étant entendu que le supplément de bénéfices qui résulterait de cette plus-value ne serait pas distribué, mais viendrait simplement grossir la réserve spéciale (Question du 13 avril 1929.)

Réponse. — Au point de vue de l'établissement de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, les entreprises qui, comme la société envisagée, ont l'habitude d'estimer leurs valeurs mobilières au prix d'achat peuvent substituer à ce système celui de l'évaluation au cours du jour de l'inventaire mais, dans ce cas, la plus-value globale que fait apparaître la nouvelle évaluation doit être retenue pour la détermination du bénéfice imposable.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 3. — 18 JANVIER 1930.

Chronique. — A propos du compte rendu de la Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'Eau (Londres, juillet 1929) : erratum et note complémentaire, p. 82. — Calculs mécaniques des lignes aériennes, p. 82. — Bibliographie : La distribution de l'électricité. Droits et obligations des municipalités, des groupements agricoles et des particuliers, par Ch. BLAEVOËT, p. 82 ; Télégraphie et téléphonie y compris les radiocommunications (Telegraphy and telephony including wireless communications), par E. MALLETT, p. 82 ; Carte de France (Usines génératrices, réseaux de distribution, lignes de transmission), par la SOCIÉTÉ FINANCIÈRE ÉLECTRIQUE, p. 82.

Section scientifique et technique. — Calcul des flèches de conducteurs aériens dans le cas de très grandes portées, par Henri COSTES, p. 83. — Réflecteur pour ondes hertziennes polarisées très courtes, par A. DELLA RICCIA, p. 87. — Revues, analyses et informations : Sur la relation entre la chute de potentiel cathodique, la longueur de l'espace obscur et l'intensité du courant, dans la décharge électrique à travers les gaz, p. 90 ; Absorption diélectrique et perte diélectrique, p. 92 ; Diffusion des électrons dans l'hydrogène atomique et moléculaire, p. 92 ; Les méthodes de recherche en métallographie. p. 93.

Section industrielle. — La mesure des courants continus de forte intensité, par P. GONNARD, p. 95. — La technique des huiles isolantes, par René AUDUBERT, p. 101. — Revues, analyses et informations : Compensateurs de phase du type Scherbius, p. 106 ; Les câbles téléphoniques à longue distance, p. 109 ; Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud, p. 109 ; L'amorçage à 60 périodes par seconde aux longues chaînes d'isolateurs suspendues, p. 110.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Omnium lyonnais, p. 111.

Section de législation. — Sur les plantations d'arbres au voisinage des lignes électriques, par A. REMAURY, p. 113. — Législation, jurisprudence, réglemention : Arrêt du Conseil d'Etat relatif aux charges extracontractuelles nées de la guerre, p. 118 ; Décret abrogeant et remplaçant le décret du 19 février 1927 relatif à la déclaration obligatoire des maladies d'origine professionnelle par application de l'article 12 de la loi du 25 octobre 1919 en vue de l'extension éventuelle de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail, p. 119 ; Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires à la totalité du versement de l'acheteur, p. 119 ; Sur les conditions imposées pour l'octroi de subventions en vue de la construction de lignes électriques destinées à alimenter des écarts ruraux, p. 119 ; Sur la propriété des arbres plantés sur les talus ou les fossés des routes départementales ou communales, p. 120 ; Sur les droits que possèdent les commissaires aux comptes des sociétés anonymes en vue de la vérification de ces comptes, p. 120 ; Sur la situation des caisses de secours mutuels au point de vue des assurances sociales, p. 120.

A propos du compte rendu de la Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'Eau (Londres, juillet 1929) : Erratum et note complémentaire. — Nous avons publié dans notre numéro du 7 septembre 1929, aux pages 345 et 346, un compte rendu de la réunion de Londres de cette conférence, compte rendu dû à M. Darrieus qui nous communique la note suivante :

En réalisant le rapport succinct que nous avons donné de la Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'Eau (Londres, juillet 1929) (1) nous constatons à la page 346 une indication erronée pour le nombre de degrés de liberté à attribuer à la molécule d'eau, afin de rendre compte de la valeur mesurée $\frac{13}{3} R$ de la chaleur spécifique à pression constante ; ce nombre est non pas 10, mais compris entre les valeurs 6 et 7 qui correspondaient respectivement d'après la théorie cinétique aux valeurs

$$\frac{12}{3} R \left(\text{ou } \frac{6+2}{2} R\right) \quad \text{et} \quad \frac{13,5}{3} R \left(\text{ou } \frac{7+2}{2} R\right)$$

de la chaleur spécifique. La première valeur (6 degrés de liberté) serait celle du solide invariable, modèle d'une molécule triatomique indéformable, mais il paraît difficile d'interpréter la constance dans un intervalle de température étendu de la valeur expérimentale entre les deux valeurs entières ci-dessus.

Nous devons mentionner à ce propos un récent mémoire du professeur Callendar (1) où sont étudiées dans les états solide, liquide et gazeux les anomalies caractéristiques, encore en grande partie mal élucidées, qui font entrevoir la structure particulièrement complexe de la vapeur d'eau.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 7 septembre 1929, t. XXVI, p. 345-346.

(1) CALLENDAR ; Critical relations between water and steam. *Engineering*, 8 novembre 1929, t. CXXVIII, p. 595.

Calculs mécaniques des lignes aériennes. — Sous ce titre, nous avons publié dans notre numéro du 12 mars 1921, t. IX, p. 349-360, une note établie par la Commission technique du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, ayant but d'unifier les méthodes de calcul de la stabilité mécanique des lignes de transmission en esquissant une méthode type.

Le Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique nous signale que deux petites erreurs, cependant graves étant donné le but visé, ont été commises dans cette publication.

A la page 358, au bas de la deuxième colonne, il faut lire JDD'^2 au lieu de JDD'. A la page 359, première colonne se trouve un tableau donnant les valeurs d'un coefficient N; ces valeurs sont en réalité celles de $\frac{N}{3}$ et non celles de N.

Bibliographie : La distribution de l'électricité. Droits et obligations des municipalités, des groupements agricoles et des particuliers, par Ch. Blaevoet, docteur en droit, chef de bureau au Ministère des Travaux publics, avec introduction par Pierre Casanova, ingénieur agronome, avocat à la Cour d'Appel, et préface par Victor Boret, sénateur, ancien ministre (1). — Ce petit ouvrage sans prétention est essentiellement un ouvrage de vulgarisation. La réglementation des distributions d'énergie est si complexe que les plus intéressés à la connaître, les municipalités, les sociétés d'intérêt collectif agricole, les associations syndicales et les particuliers ignorent leurs droits et obligations en la matière. Comment organise-t-on une distribution d'énergie, administrativement et financièrement? Quelles sont les charges fiscales ou autres et quelles sont les ressources des distributeurs, permissionnaires, concessionnaires ou régies? A quelles conditions peut-on être desservi? Quelles sont les bases des tarifs, des redevances, des frais de contrôle? Où peut-on planter des pylônes, ancrer des supports, faire passer des lignes et comment se règlent les indemnités? Quelle est la responsabilité des distributeurs et qui est compétent pour connaître des différends de toutes sortes entre l'autorité, les concessionnaires et les consommateurs? Voilà ce que nous dit sous une forme concise et claire un spécialiste très écouté de ces questions. Pratique avant tout, il a complété ses explications par des exemples, des tableaux et des formules et il y a joint une table alphabétique détaillée qui permet de trouver immédiatement le renseignement désiré. Le haut patronage de M. le sénateur et ancien ministre Boret est un sûr garant de la valeur de ce vade-mecum de l'usager. — J. R.

Bibliographie : Télégraphie et téléphonie y compris les radiocommunications (Telegraphy and telephony-including wireless communications), par E. Mallett (2). — Cet ouvrage est surtout destiné aux étudiants qui ont déjà des connaissances complètes de l'électricité et du magnétisme et qui désirent se perfectionner dans la technique des communications électriques; il constitue un intermédiaire entre les ouvrages plus particulièrement techniques écrits pour les ingénieurs d'exploitation et les traités purement théoriques.

Les trois parties de l'ouvrage sont consacrées à la télégraphie sur fils, la téléphonie sur fils, et les radiocommunications. Un appendice comprend un formulaire mathématique très complet et des développements sur certaines questions théoriques esquissées dans les chapitres normaux. Toutes les équations sont numérotées par un système pratique de classification.

Le début de la première partie présente les principaux systèmes télégraphiques et les appareils courants, simples et multiples. Une étude assez approfondie des phénomènes de propagation dans les lignes courtes amène à la notion des lignes artificielles, exposée par les méthodes de Kennelly. Les phénomènes transitoires, si importants, sont traités avec l'ampleur nécessaire, de même que les procédés destinés à améliorer la forme des signaux; des courbes montrent l'action de ces artifices. Les résultats en sont appliqués aux lignes de très grande longueur. Après avoir décrit les appareils utilisés pour les câbles sous-marins, l'auteur termine par la description des appareils à grande vitesse, Wheastone, Creed, Baudot, etc.

L'étude de la téléphonie débute par celle des grandeurs alternatives électriques et acoustiques; l'analyse des sons complexes (en particulier des voyelles), les méthodes vectorielles et la question des courbes de résonance sont développées. Le chapitre suivant est consacré aux appareils, microphone, écouteur, haut-parleur, et contient une théorie complète de l'écouteur. L'étude de la transmission le long des lignes se termine par la théorie des lignes artificielles et des filtres, l'exposé des brouillages et des mesures téléphoniques. Un chapitre traite de l'application des tubes électroniques à la téléphonie; il comprend la théorie des lampes amplificatrices et oscillatrices, et la description des divers répéteurs et systèmes de télégraphie et téléphonie par courants porteurs. La description des appareils d'appel et de communication, y compris la téléphonie automatique, complète cette deuxième partie.

En ce qui concerne les radiocommunications, le premier chapitre traite avec quelque détail de la nature des ondes électromagnétiques, de leur rayonnement, de leur propagation et de leur réception dans un circuit. Après avoir exposé la question des circuits couplés, l'auteur décrit les procédés de production des ondes, en insistant spécialement sur les oscillateurs thermoioniques, dans lesquels il cite certains dispositifs récents. La réception est plus brièvement traitée, mais présente quelques questions importantes parfois négligées dans les ouvrages similaires. — B. D.

Bibliographie : Carte de France (Usines génératrices, réseaux de distribution, lignes de transmission) (1) par la Société financière électrique. — Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur la publication d'une nouvelle édition de la carte d'ensemble des usines génératrices et réseaux français.

Toutefois, il nous paraît superflu d'insister ici sur l'intérêt de cet important document : disons seulement que les nombreuses adjonctions et modifications dont cette carte a fait l'objet ont été réalisées sans sacrifier les qualités de clarté qui permettent à ce document de rendre pleinement les services pour lesquels il a été créé.

(1) Un volume, format 21 cm × 13 cm, de 132 pages, édité par la Direction des Publications administratives, 22, rue Cambacérès, à Paris (8e). Prix : broché, 16 fr.

(2) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 413 pages, avec 287 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman et Hall, 11, Henrietta Street, à Londres, W. C. 2. Prix : relié, 21 sh.

(1) Carte en deux couleurs, format 160 cm × 160 cm, édité par la Société financière électrique, 39, avenue de Friedland, Paris (8e). Prix : 175 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Calcul des flèches de conducteurs aériens dans le cas de très grandes portées

Après avoir établi l'expression rigoureuse de la flèche d'un conducteur suspendu entre deux appuis au même niveau, en tenant compte de ce que la figure d'équilibre est une chaînette, et non une parabole comme le suppose la formule employée généralement, l'auteur indique, dans l'article qui suit, une méthode qui simplifie l'application de cette formule. Cette méthode est basée sur des changements de variables dont les valeurs, en fonction des éléments connus de la ligne à calculer, sont enregistrées dans un tableau. L'usage de ce tableau permet d'obtenir facilement et avec précision la valeur cherchée de la flèche.

I. **Etablissement de la formule donnant la flèche dans le cas de la chaînette.** — Dans les bureaux d'études de lignes électriques aériennes, on a journellement à calculer des flèches de conducteurs dont on a déterminé la tension mécanique. On assimile la courbe d'équilibre à une parabole, ce qui revient implicitement à supposer la tension constante tout le long du conducteur et on applique la formule bien connue

$$f = \frac{l^2 p}{8t},$$

p étant le poids par unité de longueur du conducteur assujetti à passer par deux points situés au même niveau et distants d'une longueur l, la tension du conducteur en ces points étant égale à t.

Il est rare que cette méthode ne soit pas suffisante ainsi que le montrent les exemples qu'on verra ci-après.

Mais on a parfois à étudier de très grandes portées, dépassant par exemple 500 m. Pour ces portées-là, l'ingénieur qui sait que, rigoureusement parlant, la forme d'équilibre d'un fil tendu est une chaînette, peut se sentir embarassé et désirer justifier ses conclusions par l'emploi d'une méthode rigoureuse.

Au prix d'une démonstration quelque peu pénible, peut-être, on peut donner aux formules résolvant rigoureusement le problème une forme extrêmement simple. C'est ce que nous nous proposons d'exposer ci-après.

On sait que la courbe formée par le conducteur dont les deux points d'appui sont supposés au même niveau est une chaînette; son axe de symétrie coïncide avec la verticale équidistante des deux points donnés et la directrice est à une distance encore inconnue h au-dessous desdits points. Rapportée à l'axe de symétrie et à la directrice, l'équation de cette chaînette sera

$$y = a \cosh \frac{x}{a},$$

a étant également une quantité encore inconnue.

Le fait que la chaînette passe par les deux points nous donne la relation

$$h = a \cosh \frac{l}{2a}. \qquad (1)$$

On sait également que la distance du point le plus bas d'une chainette à sa directrice est égale à a. La distance verticale de ce point le plus bas aux points de fixation est précisément la flèche cherchée f, en sorte que l'on a

$$h = f + a. \qquad (2)$$

La quantité a est liée au poids p du fil par unité de longueur et à la tension t_0 au point le plus bas par la relation

$$a = \frac{t_0}{p}. \qquad (3)$$

Enfin, t désignant toujours la tension aux points d'attache, on a

$$t_0 = t - pf, \qquad (4)$$

relation qui exprime la propriété bien connue de la chaînette, selon laquelle la tension au point le plus bas est égale à la tension en un point quelconque diminuée du poids du conducteur dont la longueur serait égale à la distance verticale des deux points.

De ces quatre équations on tirerait très facilement, d'abord par élimination de h entre (1) et (2),

$$f = a \cosh \frac{l}{2a} - a, \qquad (5)$$

puis par élimination de t_0 entre (3) et (4)

$$f = \frac{t}{p} - a, \qquad (6)$$

et enfin par élimination de f entre ces deux dernières relations,

$$\frac{\cosh \frac{t}{2a}}{\frac{l}{2a}} = \frac{2t}{pl}; \qquad (7)$$

$\frac{2t}{pl}$ est une quantité facilement calculable, soit k sa valeur.

Possédant un tableau (tableau I) des valeurs de la fonction

$$y = \frac{\cosh x}{x}$$

il suffirait d'y chercher la valeur de x pour laquelle

$$\frac{\cosh x}{x} = k;$$

x ainsi trouvé serait égal à $\frac{l}{2a}$, d'où $a = \frac{l}{2x}$ et l'on aurait d'après (5)

$$f = \frac{l}{2x} kx - \frac{l}{2x} = \frac{l}{2} \frac{2t}{pl} - \frac{t}{2x} = \frac{t}{p} - \frac{l}{2x}.$$

II. **Principe de la méthode proposée pour l'application de cette formule.** — Malheureusement, dans la plupart des cas d'application, $\frac{t}{p}$ et $\frac{l}{2x}$ sont des nombres très voisins et considérablement plus grands que leur différence f. Pour avoir une précision, par exemple, de 1 centième sur la flèche, il faudrait en général calculer $\frac{t}{p}$ et $\frac{l}{2x}$ avec des approximations de l'ordre de 1 pour 100 000. Ceci enlève tout intérêt pratique à ce calcul.

Mais il est facile de tourner la difficulté, et nous n'avons signalé cette méthode que pour éviter des déboires à ceux qui l'auraient reconstituée d'eux-mêmes.

Les termes $\frac{t}{p}$ et $\frac{l}{2x}$ sont, on nous pardonnera cet emploi un peu fantaisiste d'un terme en dehors de sa définition précise, des quantités ayant « même partie principale ». Il faut éliminer à l'avance cette « partie principale ».

Nous avons employé la formule (2)

$$f = h - a = a \cosh \frac{l}{2a} - a.$$

On peut l'écrire

$$f = \frac{l}{2} \frac{\cosh \frac{l}{2a}}{\frac{l}{2a}} - \frac{l}{2} \frac{1}{\frac{l}{2a}} = \frac{l}{2} \left(\frac{\cosh \frac{l}{2a}}{\frac{l}{2a}} - \frac{1}{\frac{l}{2a}} \right).$$

Posons encore $\frac{l}{2a} = x$. Evidemment la relation (7) est toujours vérifiée et x est solution de l'équation

$$\frac{\cosh x}{x} = \frac{2t}{pl},$$

Considérons alors la fonction

$$z = \frac{\cosh x}{x} - \frac{1}{x}.$$

Nous aurons

$$f = \frac{lz}{2}.$$

Le fait de dresser simultanément en fonction de x des tables des fonctions

$$y = \frac{\cosh x}{x} \quad \text{et} \quad z = \frac{\cosh x}{x} - \frac{1}{x},$$

donne évidemment la table de la fonction $z = f(y)$ obtenue en éliminant x entre y et z.

III. **Enoncé de la méthode proposée.** — La méthode définitive sera donc la suivante :

On calcule $\frac{2t}{pl}$, soit k sa valeur; on lit dans la table la valeur de z pour $y = k$ et on a

$$f = \frac{lz}{2}.$$

Les différences tabulaires sont indiquées dans le tableau I, pour permettre de faire les interpolations nécessaires, absolument comme pour les tables de logarithmes. Il ne faut pas, en effet, qu'un manque de précision dans les calculs numériques fasse perdre tout le bénéfice qu'on retire de l'emploi de cette méthode. De même évidemment, il faudra calculer $\frac{2t}{pl}$ avec une précision suffisante (en pratique trois chiffres après la virgule). C'est là, croyons-nous, le seul inconvénient du mode de calcul indiqué, qui sans cela ne serait certainement pas plus long que le calcul de $\frac{l^2 p}{8t}$.

IV. **Etablissement du tableau.** — Les valeurs de x ayant servi de base à la détermination de y et de z vont en croissant de 0,001 d'une ligne à l'autre dans l'intervalle 0,02 à 0,04 et de 0,002 dans l'intervalle 0,04 à 0,07; de 0,005 dans l'intervalle 0,07 à 0,1; enfin de 0,01 dans l'intervalle 0,1 à 1,22, dernière valeur donnée à x. Ainsi les différences tabulaires pour y et pour z sont toujours suffisamment faibles pour que l'emploi des interpolations proportionnelles soit légitime.

TABLEAU I. — *Valeurs des fonctions y et z et des différences tabulaires.*

x	Δx	$y = \frac{\cosh x}{x}$	Δy	$z = \frac{\cosh x - 1}{x}$	Δz
0,010		100,0050		0,0050	
0,020	0,010	50,0100	2,3804	0,0100	0,0050
0,021	0,001	47,6296	2,1640	0,0105	0,0005
0,022	id	45,4656	1,9753	0,0110	id
0,023	id	43,4903	1,8116	0,0115	id
0,024	id	41,6787	1,6662	0,0120	id
0,025	id	40,0125	1,5380	0,0125	id
0,026	id	38,4745	1,4240	0,0130	id
0,027	id	37,0505	1,3222	0,0135	id
0,028	id	35,7283	1,2310	0,0140	id
0,029	id	34,4973	1,1490	0,0145	id
0,030	id	33,3483	1,0747	0,0150	id
0,031	id	32,2736	1,0076	0,0155	id
0,032	id	31,2660	0,9465	0,0160	id
0,033	id	30,3195	0,8907	0,0165	id
0,034	id	29,4288	0,8399	0,0170	id
0,035	id	28,5889	0,7931	0,0175	id
0,036	id	27,7958	0,7503	0,0180	id
0,037	id	27,0455	0,7107	0,0185	id
0,038	id	26,3348	0,6743	0,0190	id
0,039	id	25,6605	0,6405	0,0195	id
0,040		25,0200		0,0200	
0,042	0,002	23,8305	1,1895	0,0210	0,0010
0,044	id	22,7493	1,0812	0,0220	id
0,046	id	21,7621	0,9872	0,0230	id
0,048	id	20,8573	0,9048	0,0240	id
0,050	id	20,0250	0,8323	0,0250	id
0,052	id	19,2568	0,7682	0,0260	id
0,054	id	18,5455	0,7113	0,0270	id
0,056	id	17,8851	0,6604	0,0280	id
0,058	id	17,2704	0,6147	0,0290	id
0,060	id	16,6967	0,5737	0,0300	id
0,062	id	16,1600	0,5367	0,0310	id
0,064	id	15,6570	0,5030	0,0320	id
0,066	id	15,1845	0,4725	0,0330	id
0,068	id	14,7399	0,4446	0,0340	id
0,070		14,3207	0,4192	0,0350	
0,075	0,005	13,3709	0,9498	0,0375	0,0025
0,080	id	12,5400	0,8309	0,0400	id
0,085	id	11,8072	0,7328	0,0425	id
0,090	id	11,1561	0,6511	0,0450	id
0,095	id	10,5739	0,5822	0,0475	id
0,10		10,0500	0,5329	0,0500	
0,11	0,01	9,1460	0,9040	0,0551	0,0051
0,12	id	8,3934	0,7526	0,0601	0,0050
0,13	id	7,7574	0,6360	0,0651	0,0050
0,14	id	7,2130	0,5444	0,0701	0,0050
0,15	id	6,7418	0,4712	0,0751	0,0050
0,16	id	6,3302	0,4116	0,0802	0,0051
0,17	id	5,9676	0,3626	0,0852	0,0050
0,18	id	5,6458	0,3218	0,0902	0,0050
0,19	id	5,3584	0,2874	0,0953	0,0051
0,20	id	5,1003	0,2581	0,1003	0,0050
0,21	id	4,8673	0,2330	0,1054	0,0051
0,22	id	4,6559	0,2114	0,1104	0,0050
0,23	id	4,4633	0,1926	0,1155	0,0051
0,24	id	4,2872	0,1761	0,1206	0,0051
0,25	id	4,1257	0,1615	0,1257	0,0051
0,26	id	3,9769	0,1488	0,1307	0,0050
0,27	id	3,8395	0,1374	0,1358	0,0051
0,28	id	3,7123	0,1272	0,1409	0,0051
0,29	id	3,5943	0,1180	0,1460	0,0051
0,30	id	3,4845	0,1098	0,1511	0,0051
0,31	id	3,3820	0,1025	0,1562	0,0051
0,32	id	3,2864	0,0956	0,1614	0,0052

TABLEAU I. — *Valeurs des fonctions y et z et des différences tabulaires.* (Suite).

x	Δx	$y = \frac{\cosh x}{x}$	Δy	$z = \frac{\cosh x - 1}{x}$	Δz
0,32		3,2864		0,1614	
0,33	0,01	3,1968	0,0896	0,1665	0,0051
0,34	id	3,1128	0,0840	0,1716	0,0051
0,35	id	3,0339	0,0789	0,1768	0,0052
0,36	id	2,9597	0,0742	0,1819	0,0051
0,37	id	2,8898	0,0699	0,1871	0,0052
0,38	id	2,8239	0,0659	0,1923	0,0052
0,39	id	2,7616	0,0623	0,1975	0,0052
0,40	id	2,7027	0,0589	0,2027	0,0052
0,41	id	2,6469	0,0558	0,2079	0,0052
0,42	id	2,5940	0,0529	0,2131	0,0052
0,43	id	2,5439	0,0501	0,2183	0,0052
0,44	id	2,4963	0,0476	0,2236	0,0053
0,45	id	2,4510	0,0453	0,2288	0,0052
0,46	id	2,4080	0,0430	0,2341	0,0053
0,47	id	2,3670	0,0410	0,2393	0,0052
0,48	id	2,3279	0,0391	0,2446	0,0053
0,49	id	2,2907	0,0372	0,2499	0,0053
0,50	id	2,2552	0,0355	0,2552	0,0053
0,51	id	2,2213	0,0339	0,2605	0,0053
0,52	id	2,1889	0,0324	0,2659	0,0054
0,53	id	2,1580	0,0309	0,2712	0,0053
0,54	id	2,1284	0,0296	0,2766	0,0054
0,55	id	2,1001	0,0283	0,2819	0,0053
0,56	id	2,0730	0,0271	0,2873	0,0054
0,57	id	2,0471	0,0259	0,2927	0,0054
0,58	id	2,0223	0,0248	0,2981	0,0054
0,59	id	1,9985	0,0238	0,3036	0,0055
0,60	id	1,9757	0,0228	0,3090	0,0054
0,61	id	1,9538	0,0219	0,3145	0,0055
0,62	id	1,9328	0,0210	0,3199	0,0056
0,63	id	1,9127	0,0201	0,3254	0,0055
0,64	id	1,8934	0,0193	0,3309	0,0055
0,65	id	1,8749	0,0185	0,3364	0,0055
0,66	id	1,8571	0,0178	0,3420	0,0056
0,67	id	1,8401	0,0170	0,3475	0,0055
0,68	id	1,8237	0,0164	0,3531	0,0056
0,69	id	1,8080	0,0157	0,3587	0,0056
0,70	id	1,7929	0,0151	0,3643	0,0056
0,71	id	1,7784	0,0145	0,3699	0,0056
0,72	id	1,7644	0,0140	0,3756	0,0055
0,73	id	1,7511	0,0133	0,3812	0,0056
0,74	id	1,7382	0,0129	0,3869	0,0057
0,75	id	1,7259	0,0123	0,3926	0,0057
0,76	id	1,7141	0,0118	0,3983	0,0057
0,77	id	1,7027	0,0114	0,4040	0,0057
0,78	id	1,6918	0,0109	0,4097	0,0057
0,79	id	1,6814	0,0104	0,4155	0,0058
0,80	id	1,6713	0,0101	0,4213	0,0058
0,81	id	1,6617	0,0096	0,4271	0,0058
0,82	id	1,6525	0,0092	0,4330	0,0059
0,83	id	1,6436	0,0089	0,4388	0,0058
0,84	id	1,6352	0,0084	0,4447	0,0059
0,85	id	1,6271	0,0081	0,4506	0,0059
0,86	id	1,6193	0,0078	0,4565	0,0059
0,87	id	1,6119	0,0074	0,4624	0,0059
0,88	id	1,6048	0,0071	0,4684	0,0060
0,89	id	1,5980	0,0068	0,4744	0,0060
0,90	id	1,5915	0,0065	0,4804	0,0060
0,91	id	1,5853	0,0062	0,4864	0,0060
0,92	id	1,5794	0,0059	0,4925	0,0061
0,93	id	1,5738	0,0056	0,4985	0,0060
0,94	id	1,5685	0,0053	0,5046	0,0061
0,95	id	1,5634	0,0051	0,5107	0,0061
			0,0048		0,0062

TABLEAU I. — *Valeurs des fonctions y et z et des différences tabulaires.* (Suite et fin).

x	Δx	$y = \frac{\cosh x}{x}$	Δy	$z = \frac{\cosh x - 1}{x}$	Δz
0,96	0,01	1,5586	0,0046	0,5169	0,0061
0,97	id	1,5540	0,0044	0,5230	0,0062
0,98	id	1,5496	0,0041	0,5292	0,0062
0,99	id	1,5455	0,0039	0,5354	0,0063
1,00	id	1,5416	0,0036	0,5417	0,0062
1,01	id	1,5380	0,0034	0,5479	0,0063
1,02	id	1,5346	0,0032	0,5542	0,0063
1,03	id	1,5314	0,0030	0,5605	0,0064
1,04	id	1,5284	0,0028	0,5669	0,0063
1,05	id	1,5256	0,0026	0,5732	0,0064
1,06	id	1,5230	0,0024	0,5796	0,0064
1,07	id	1,5206	0,0022	0,5860	0,0065
1,08	id	1,5184	0,0020	0,5925	0,0065
1,09	id	1,5164	0,0018	0,5990	0,0065
1,10	id	1,5146	0,0017	0,6055	0,0065
1,11	id	1,5129	0,0015	0,6120	0,0065
1,12	id	1,5114	0,0013	0,6185	0,0066
1,13	id	1,5101	0,0012	0,6251	0,0066
1,14	id	1,5089	0,0010	0,6317	0,0067
1,15	id	1,5079	0,0008	0,6384	0,0066
1,16	id	1,5071	0,0007	0,6450	0,0067
1,17	id	1,5064	0,0005	0,6517	0,0068
1,18	id	1,5059	0,0003	0,6585	0,0067
1,19	id	1,5056	0,0002	0,6652	0,0068
1,20	id	1,5054	0,0001	0,6720	0,0068
1,21	id	1,5053	0,0000	0,6788	0,0069
1,22		1,5053		0,6857	

On peut remarquer que la fonction $\frac{\cosh x}{x}$ passe par un minimum pour une valeur de x extrêmement voisine de la valeur 1,22 à laquelle est arrêté le tableau. Ainsi, l'équation $\frac{\cosh x}{x} = k$ a zéro ou deux solutions.

Ceci correspond au fait suivant.

Lorsqu'on augmente progressivement la longueur d'un fil tendu entre deux points fixes, la tension commence par diminuer, elle passe par un minimum, puis s'accroît constamment au fur et à mesure qu'augmente la longueur du fil, l'influence du poids du fil étant à ce moment plus considérable que celle de l'augmentation de courbure qu'il peut prendre. La tension d'un fil dans une portée déterminée ne peut donc pas descendre en dessous d'une certaine valeur. Pour une valeur de la tension supérieure à ce minimum, il existe deux formes d'équilibre différentes correspondant à la même tension au point le plus haut. On prend évidemment celle qui correspond à la plus petite flèche; c'est pour cette raison que le tableau est dressé seulement pour les valeurs de x inférieures à celle qui rend $\frac{\cosh x}{x}$ minimum.

V. **Applications numériques et résultats comparés.** — Dans les tableaux II et III sont indiquées, pour différentes tensions et différentes portées, les flèches obtenues pour la formule $\frac{l^2 p}{8t}$ et par la méthode que nous venons d'énoncer. Les tensions choisies sont 2, 4, 6, 8 et 10 kg : mm², la tension de 2 kg : mm², pour si faible qu'elle puisse paraître, pouvant parfaitement se rencontrer pour une température de + 45°C dans une grande portée que l'on aura tendue avec un coefficient de sécurité égal à 5. Dans le cas de l'étude d'une portée notablement plus grande que celles envisagées d'ordinaire, il est facile de choisir, après avoir consulté ces tableaux, la méthode à adopter pour obtenir la précision désirée.

Le tableau II s'applique aux conducteurs en cuivre

TABLEAU II. — *Valeurs comparées de la flèche obtenues par la formule $\frac{l^2 p}{8t}$ et par la méthode proposée, dans le cas de conducteurs en cuivre.*

Flèches, en mètres, obtenues par :	PORTÉES DE 100 m	200 m	400 m	800 m	PORTÉES DE 100 m	200 m	400 m	800 m
	Tensions de 2 kg : mm²				Tensions de 4 kg : mm²			
la formule $\frac{l^2 p}{8t}$	5,56	22,25	89,00	356,00	2,78	11,12	44,50	178,00
la méthode proposée..	5,73	25,65			2,80	11,47	51,30	
	Tensions de 6 kg : mm²				Tensions de 8 kg : mm²			
la formule $\frac{l^2 p}{8t}$	1,85	7,42	29,66	118,66	1,39	5,56	22,24	89,00
la méthode proposée..	1,86	7,51	31,36	165,40	1,40	5,61	22,94	102,60
	Tensions de 10 kg : mm²							
la formule $\frac{l^2 p}{8t}$	1,11	4,44	17,80	71,20				
la méthode proposée..	1,12	4,47	18,12	77,44				

Pour l'acier doux ou l'aluminium on obtiendrait évidemment dans les mêmes conditions de tension et de portée des flèches tout autres. Mais les écarts relatifs entre les résultats des deux méthodes appliquées à des conducteurs formés de ces métaux seraient du même ordre que pour le cuivre et c'est à peu près dans les mêmes cas que l'on devrait choisir l'une ou l'autre méthode.

Ce fait provient de ce que pour le cuivre, l'acier doux ou l'aluminium, les rapports de la ténacité à la densité ne sont pas trop différents.

Par contre, pour l'aldrey, ce rapport est beaucoup plus élevé et on peut poser en principe que pour des tensions supérieures à 4 kg: mm² la méthode usuelle donnera toujours des résultats suffisamment précis ; c'est pourquoi nous n'indiquons que les flèches correspondant à 2 et à 4 kg: mm².

On remarquera que dans les tableaux correspondant aux conducteurs en cuivre, aucune valeur de flèche n'est indiquée dans l'emploi de la méthode rigoureuse pour la tension de 4 kg: mm² avec portée de 800 m et pour la tension de 2 kg: mm² avec portées de 400 et de 800 m. Ce sont des applications du fait signalé un peu plus haut. Les tensions de 2 et 4 kg: mm² sont inférieures respectivement aux tensions minima possibles aux points d'attache de portées de 400 et de 800 m. C'est là une circonstance qu'évidemment la formule $\frac{l^2 p}{8t}$ ne faisait absolument pas prévoir.

TABLEAU III. — *Valeurs comparées de la flèche obtenues par la formule* $\frac{l^2 p}{8t}$ *et par la méthode proposée, dans le cas de conducteurs en aldrey.*

Flèches, en mètres, obtenues par :	PORTÉES DE 100 m	200 m	400 m	800 m	PORTÉES DE 100 m	200 m	400 m	800 m
	Tensions de 2 kg : mm²				Tensions de 4 kg : mm²			
la formule $\frac{l^2 p}{8t}$	1,69	6,75	27,00	108,00	0,84	3,37	13,50	54,00
la méthode proposée..	1,69	6,83	28,26	137,48	0,84	3,38	13,66	56,48

Henri COSTES,
Ancien élève de l'Ecole polytechnique,
Ingénieur à la Société Electro-Câble.

Réflecteur pour ondes hertziennes polarisées très courtes

Après avoir rappelé les propriétés des réflecteurs cylindriques à directrice conique, suivant que cette directrice est une hyperbole, une parabole ou une ellipse, l'auteur s'arrête au cas du réflecteur cylindrique elliptique. Il établit les formules qui expriment la marche des rayons en fonction des constantes caractéristiques des réflecteurs, formules qui permettent à leur tour de déterminer ces constantes lorsque le résultat cherché est connu.

I. **Réflecteurs cylindriques ayant pour directrice une conique.** — Considérons un réflecteur cylindrique ayant pour directrice une conique (parabole, hyperbole, ellipse ou circonférence) avec un oscillateur hertzien rectiligne placé le long d'une ligne focale et examinons les faisceaux de rayons produits dans le voisinage du plan perpendiculaire aux génératrices du réflecteur et à l'oscillateur et coupant les unes et l'autre vers leur milieu.

Le réflecteur cylindrique à directrice parabolique, avec un oscillateur rectiligne placé dans son unique ligne focale, produit un faisceau de rayons réfléchis parallèles, auquel se superpose un faisceau de rayons directs divergents compris dans un dièdre dont l'arête se trouve dans la ligne focale et dont les deux plans limites passent par les deux bords rectilignes du réflecteur. Ce second faisceau constitue, pour ainsi dire, une dispersion par rapport au premier, dispersion qu'on peut restreindre en allongeant le réflecteur dans le sens de l'axe de la parabole directrice, mais que l'on ne peut pas supprimer entièrement.

Le réflecteur cylindrique à directrice hyperbolique, avec un oscillateur rectiligne placé dans sa ligne focale intérieure (ou antérieure), produit un faisceau de rayons réfléchis divergents, paraissant émaner de la ligne focale extérieure (ou postérieure) du réflecteur ; à ce faisceau se superpose un faisceau de rayons directs divergents compris dans un dièdre dont l'arête se trouve dans la ligne focale occupée par l'oscillateur et dont les deux plans limites passent par les deux bords rectilignes du réflecteur. Comme ceux-ci sont moins éloignés de cette ligne focale (intérieure ou antérieure)

que de l'autre (extérieure ou postérieure), ce second faisceau constitue encore une sorte de dispersion par rapport au premier, dispersion qu'on peut réduire en allongeant le réflecteur dans le sens de l'axe de l'hyperbole directrice, mais que l'on ne peut pas non plus éliminer complètement.

Le réflecteur cylindrique à directrice elliptique, avec un oscillateur rectiligne placé dans sa ligne focale F_1 (fig. 1) proche de l'extrémité A du grand axe de l'ellipse directrice marquant le fond du réflecteur, pro-

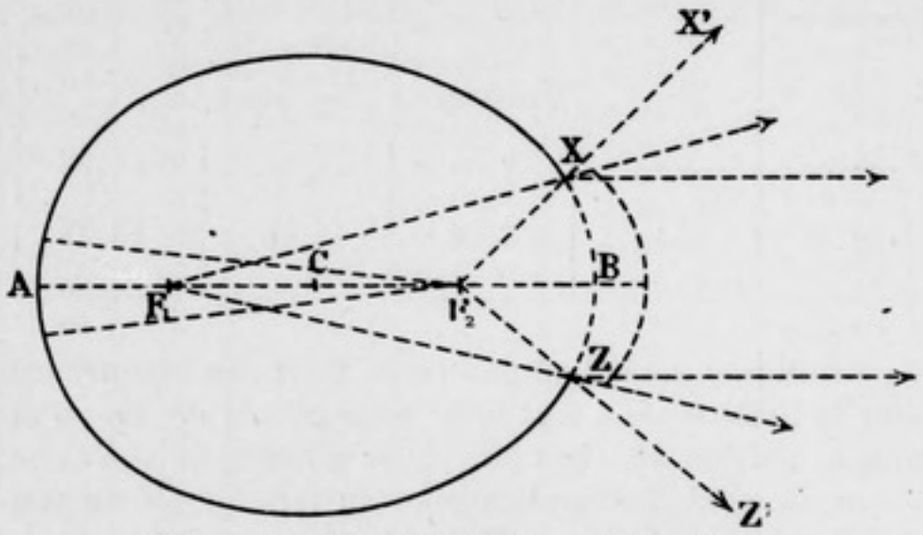


Fig. 1. — Représentation schématique du réflecteur cylindrique elliptique.

duit un faisceau de rayons réfléchis divergents, paraissant émaner de la ligne focale F_2 proche de l'extrémité B du grand axe de l'ellipse directrice marquant le côté de l'ouverture du réflecteur; à ce faisceau se superpose un faisceau de rayons directs divergents compris dans un dièdre dont l'arête se trouve dans la ligne focale F_1 et dont les deux plans limites passent par les bords X et Z rectilignes du réflecteur. Ces deux faisceaux ont deux ouvertures en dièdres, généralement différentes, qui dépendent de la position de la transversale XZ par rapport au grand axe A F_1 C F_2 B de l'ellipse directrice, les deux angles n'étant égaux que dans le cas où cette transversale coupe cet axe en C, centre de l'ellipse.

Si cette transversale XZ coupe l'axe entre A et C, le faisceau des rayons directs est plus ouvert que celui des rayons réfléchis; si elle coupe l'axe entre C et B, il arrive le contraire. Pour que les deux faisceaux soient simultanément très aigus, il faut que cette transversale coupe l'axe entre F_2 et B. Dans ce cas, le réflecteur peut être envisagé comme presque fermé.

II. **Propriétés du réflecteur cylindrique elliptique.** — Un réflecteur cylindrique elliptique presque fermé ne présente pas de dispersion. Son champ d'émission effectif est représenté par un dièdre ayant pour arête la ligne focale F_2, la plus écartée du fond A et la plus rapprochée de la fenêtre XZ du réflecteur, et pour limites les deux bords rectilignes X et Z de la fenêtre. En rapprochant X et Z de B, symétriquement par rapport à l'axe ACB ou non, on restreint ad libitum le secteur d'émission.

Un pareil réflecteur peut être complété avantageusement par deux auvents plans, passant par les bords X et Z de la fenêtre, en partie extérieurs et en partie intérieurs, alignés sur la ligne focale F_2, ou très légèrement en arrière de celle-ci, vers le centre C de l'ellipse directrice.

Ce réflecteur peut encore être pourvu d'une lentille cylindrique, à génératrices parallèles à celles du réflecteur, dans le but de modifier l'ouverture angulaire du faisceau sortant de la ligne focale F_2. En général, il s'agira d'une lentille convergente ayant pour but de diminuer cette ouverture. On pourra obtenir ainsi un faisceau de rayons parallèles. Cette lentille, en une substance diélectrique convenable, n'aura pas de dimensions excessives, la fenêtre en B pouvant être assez étroite, grâce à la forme rentrante de l'ellipse directrice.

Le réflecteur cylindrique elliptique presque fermé peut être employé avec un oscillateur placé en F_1, près du fond A, comme nous l'avons supposé jusqu'ici; mais il peut encore être employé avec un oscillateur placé en F_2, près de l'ouverture XZ. Avant de sortir définitivement du réflecteur, les rayons sont réfléchis un certain nombre de fois, selon leur orientation initiale et selon l'emplacement de l'oscillateur; mais ils finissent toujours par sortir tous du réflecteur, quelle que soit la place assignée à l'oscillateur, F_1 ou F_2. Ils repassent donc par la ligne focale F_2 d'émission après des parcours différents.

III. **Calcul des dimensions d'un réflecteur cylindrique elliptique.** — 1. Généralités. — Comme il convient que tous les rayons se présentent près de cette ligne focale d'émission avec la même phase, il faut que le réflecteur soit convenablement établi. Pour la détermination des dimensions du réflecteur, il est nécessaire de tenir compte de trois faits :

1° A chaque réflexion se produit un phénomène qui retarde la phase du rayon réfléchi par rapport à celle du rayon incident d'une fraction k de la durée T de la période. Cette fraction paraît être nulle dans la réflexion sur diélectrique pur, et égale à 1/2 dans la réflexion sur conducteur pur.

2° Les radiations polarisées dans un plan convergeant vers une ligne focale prennent par contre une avance de phase égale à un demi-quart de longueur d'onde (1/8 L) et divergeant ensuite de cette ligne focale prennent une deuxième avance de phase égale à la précédente; c'est pourquoi chaque passage complet par une ligne focale donne lieu à une avance de phase égale à un quart de longueur d'onde ($f' = 1/4\ L$), si la ligne focale est libre; une avance de phase d'un demi-quart de longueur d'onde se produit d'ailleurs aussi, avec des radiations polarisée dans un plan, lors de leur éloignement de la source rectiligne qui les engendre ($f = 1/8\ L$).

3° Si la ligne focale vers où convergent et d'où divergent les radiations polarisées est occupée par un conducteur cylindrique, celui-ci peut fonctionner comme résonateur ou comme le secondaire d'un transformateur statique, les radiations convergentes étant à

considérer comme des radiations primaires et les radiations divergentes, comme des radiations secondaires. C'est là un phénomène du même ordre que la réflexion métallique. Il faut donc s'attendre à un retard de phase d'environ une demi-longueur d'onde entre les radiations primaires ou convergentes et les radiations secondaires ou divergentes, retard qui se superpose à l'avance de phase due à la convergence et à la divergence, dont il a été question plus haut. Mais comme le conducteur cylindrique possède un rayon non nul, une partie de cette avance est probablement perdue, partie qui dépend du rapport entre ledit rayon et la longueur d'onde des radiations.

Il en est de même pour l'avance initiale de phase au départ de la source rectiligne.

2. Cas particuliers. — Nous désignerons par AB la longueur du grand axe de l'ellipse directrice, ou la somme de deux rayons vecteurs allant des deux foyers F_1 et F_2 à un point quelconque M de l'ellipse directrice. Trois cas sont à envisager :

1° L'oscillateur occupe la ligne focale F_1, la plus proche du fond A du réflecteur, l'autre ligne focale F_2 étant libre. Les rayons partant de F_1 sont réfléchis une fois, passent par F_2 et sortent ; ou bien ils rentrent et repassent par F_1 et par F_2, avec deux réflexions, une ou plusieurs fois. On peut exprimer ainsi les différents parcours virtuels

$$-f+\mathrm{AB}+r-f',$$
$$-f+3\,\mathrm{AB}+3r-2f'+f'',$$
$$-f+5\,\mathrm{AB}+5r-3f'+2f'', \text{ etc.},$$

où $-f$ est l'avance au départ ; r, le retard à la réflexion ; $-f'$, l'avance à la traversée d'une ligne focale libre ; $+f''$, le retard à la traversée d'une ligne focale occupée par un conducteur.

Les différences entre ces parcours virtuels sont toutes égales à

$$2\,\mathrm{AB}+2r-f'+f'',$$

de manière que tous les rayons émanant finalement de F_2 vers l'extérieur soient en phase si

$$2\,\mathrm{AB}+2r-f'+f''=nL,$$

où n est un nombre entier quelconque.

Si l'on peut admettre

$$r=\tfrac{1}{2}L,\quad f'=\tfrac{1}{4}L,\quad f''=\tfrac{1}{2}L-\tfrac{1}{4}L=\tfrac{1}{4}L,$$

on trouve

$$2\,\mathrm{AB}+L=nL,$$

c'est-à-dire

$$\mathrm{AB}=m\frac{L}{2},$$

où m est un nombre entier quelconque.

2° L'oscillateur occupe la ligne focale F_2, la plus proche de l'ouverture XZ du réflecteur, l'autre ligne focale F_1 étant libre. Les rayons partant de F_2 qui ne sortent pas directement passent par F_1 et repassent par F_2 avec deux réflexions, une ou plusieurs fois. On peut exprimer ainsi les différents parcours virtuels.

$$-f,$$
$$-f+2\,\mathrm{AB}+2r-f'+f'',$$
$$-f+4\,\mathrm{AB}+4r-2f'+2f'', \text{ etc.}$$

Les différences entre ces parcours virtuels sont toutes égales à

$$2\,\mathrm{AB}+2r-f'+f'',$$

comme dans le cas précédent. On arrive donc à la même condition générale et à la même condition particulière.

3° L'oscillateur occupe la ligne focale F_1 ou F_2, l'autre ligne focale F_2 ou F_1 étant également occupée par un conducteur cylindrique de petit rayon. Il n'y a qu'à remplacer $-f'$ par $+f''$ dans les deux cas précédents pour trouver la condition générale à satisfaire pour obtenir l'accord en phase de tous les rayons sortant du réflecteur, condition qui devient

$$2\,\mathrm{AB}+2r+2f''=nL,$$

ou bien

$$\mathrm{AB}+r+f''=n\frac{L}{2},$$

où n est un nombre entier quelconque.

Si l'on peut admettre

$$r=\tfrac{1}{2}L,\quad f'=\tfrac{1}{4}L,$$

on trouve

$$\mathrm{AB}+\frac{3}{4}L=n\frac{L}{2},$$

c'est-à-dire

$$\mathrm{AB}=m\frac{L}{2}+\tfrac{1}{4}L,$$

où m est un nombre entier quelconque. Le troisième cas nécessite donc des dimensions du réflecteur différentes de celles correspondant aux deux premiers cas.

Les deux lignes focales peuvent être occupées par deux oscillateurs ; dans ce cas, pour obtenir des effets concomitants, il faut qu'ils vibrent en opposition de phase, comme l'indique la condition

$$\mathrm{AB}+r+f''=n\frac{L}{2},$$

qui mesure le parcours virtuel entre deux sorties successives aux deux lignes focales.

Le réflecteur peut être constitué aussi bien par une série de conducteurs parallèles tendus entre deux châssis de forme elliptique que par une tôle métallique continue repliée en forme de cylindre elliptique ouvert à une extrémité.

Dans l'établissement du circuit produisant les oscillations, il faut tenir compte de la capacité et de la self-inductance introduites par la présence du réflecteur.

La distance entre les bords X et Z de la fenêtre, ou entre les bords correspondants X′ et Z′ des auvents qui y sont adaptés, doit être égal à 10 fois au moins la longueur d'onde, si l'on veut réduire suffisamment les effets de diffraction. Ce réflecteur convient donc seulement aux petites longueurs d'onde ; mais déjà on sait produire des radiations entretenues d'une puissance suffisante n'ayant pas plus de 18 cm de longueur d'onde. Ce réflecteur peut donc être soumis à l'épreuve de la pratique.

A. DELLA RICCIA.

Revues, analyses et informations

Sur la relation entre la chute de potentiel cathodique, la longueur de l'espace obscur et l'intensité du courant dans la décharge électrique à travers les gaz (1).

Dans toute décharge stable, deux conditions doivent être satisfaites ; la première, condition d'entretien, est que la décharge soit le siège de phénomènes qui, pour chaque électron disparu, en produise une autre capable de le remplacer. Cette condition doit être remplie, que le courant qui traverse le gaz soit intense ou non.

La seconde condition est que la densité de courant corresponde à celle que la différence de potentiel appliquée entre les électrodes est théoriquement capable d'envoyer à travers le gaz. Tant que la totalité de la surface des électrodes n'est pas utilisée par le courant, la densité de courant peut, entre de larges limites, prendre une valeur quelconque par ajustement de l'aire de la surface d'où le courant sort. Ainsi, cette condition, qui s'exprime sous la forme d'une relation entre la densité de courant i, la chute de potentiel cathodique V_0, et l'épaisseur d de l'espace obscur, n'imposera pas de limites aux valeurs de V_0 et d, mais déterminera la valeur de i correspondant à des valeurs assignées de ces quantités. Mais quand le courant est devenu assez intense pour que toute l'électrode soit intéressée, la densité du courant se trouve déterminée par son intensité, et il ne reste plus que les valeurs de V_0 et d, fonctions de cette intensité, qui soient à même de satisfaire à la condition de stabilité. On appelle décharge normale celle qui n'intéresse qu'une partie des électrodes, décharge anormale celle qui en intéresse la totalité.

La condition d'entretien dépend des types d'ionisation qui interviennent dans la décharge et des lois qui les régissent. Il y a dans la décharge plusieurs sources d'ionisation, telles que chocs électroniques contre les molécules du gaz, effet photoélectrique à la cathode, impacts d'ions positifs sur la cathode, et ionisation du gaz par les radiations produites par la décharge.

L'auteur considère d'abord l'ionisation due aux chocs des électrons. Divers observateurs ont fait des expériences à ce sujet ; les travaux les plus récents sont ceux de Kössel (1912), Hughes et Klein (1924), et Compton et van Voorhis (1926).

Ces travaux, quoique présentant de grandes différences dans leurs résultats numériques, concordent cependant dans leurs grandes lignes. La probabilité de production d'électrons par choc d'un électron avec des molécules du gaz reste nulle jusqu'à ce que l'énergie de l'électron atteigne une valeur déterminée, celle qui correspond au potentiel d'ionisation du gaz.

Lorsque l'énergie des électrons dépasse cette valeur, l'ionisation est d'abord proportionnelle à la différence entre le potentiel actuel et le potentiel d'ionisation ; elle atteint ensuite un maximum, pour une valeur de l'énergie des électrons égale au produit de 200 v environ par la charge des électrons, après quoi l'ionisation varie en raison inverse de l'énergie électronique.

D'après les mesures de Compton, le nombre d'électrons produits par centimètre de parcours de l'électron ionisant, dont l'énergie est égale au produit de V volts par la charge des électrons, et qui se meut dans un gaz à la pression p, est donnée par

$$n_1 = \frac{kp\,(V - C)}{(V - C)^2 + M^2}, \qquad (1)$$

où C est le potentiel d'ionisation du gaz, M la valeur que prend $V - C$ quand l'ionisation est maxima, et k une constante. Dans l'azote sous la pression d'une colonne de mercure de 1 mm, l'ionisation maximum correspond à la production de 10 électrons par centimètre de parcours de l'électron ionisant ; ceci conduit à une valeur de k égale à 3 400 pour N^2. Pour l'hydrogène, on a $k = 1080$.

Le nombre d'électrons produits lorsque l'électron ionisant se déplace du point $x = a$ au point $x = b$ sera donc

$$n = \int_a^b \frac{kp\,(V - C)}{(V - C)^2 + M^2}\,dx. \qquad (2)$$

Si l'électron, partant de la cathode, parcourt l'espace obscur cathodique, la valeur de V à une distance x de la cathode sera, d'après Aston,

$$V = V_0\,\frac{x\,(2d - x)}{d^2}, \qquad (3)$$

où V_0 est la chute de potentiel cathodique et d, l'épaisseur de l'espace obscur.

Si l'on introduit l'hypothèse simplificatrice qui suppose que le champ dans l'espace obscur est uniforme, l'équation précédente prend la forme

$$V = V_0\,\frac{x}{d};$$

(1) J.-J. THOMSON. *The philosophical Magazine*, octobre 1929, t. VIII (7e série), p. 393-409, 6 500 mots, 3 figures.

Si l'on suppose en outre V_0 petit par rapport à M et C petit par rapport à V_0, n prend la valeur

$$n = \frac{kpd}{2} \frac{V_0 - C}{M^2}.$$

Si l'on suppose au contraire $V_0 - C$ grand par rapport à M, on obtient

$$n = \frac{kpd}{2V_0} \log_e \frac{V_0^2}{M^2},$$

expression qui est rendue maximum pour V_0 voisin de $2M$. La valeur de n correspondante est peu différente de $0{,}5 \frac{kpd}{M}$.

Dans le cas général de l'équation (3), le calcul donne, lorsque $\frac{V_0}{M}$ est très grand,

$$n = \frac{1}{2} \frac{kpd}{V_0} \log_e \frac{4V_0}{M}. \qquad (4)$$

et

$$n = \frac{4}{3} \frac{V_0 - C}{M} \frac{kpd}{2M}, \qquad (5)$$

lorsque $\frac{V_0}{M}$ est petit.

Les électrons secondaires produits par les électrons issus de la cathode peuvent, sous l'action du champ de l'espace obscur, acquérir assez d'énergie pour ioniser le gaz et produire des électrons tertiaires, susceptibles de produire à leur tour d'autres électrons.

On peut déterminer le nombre d'électrons produits par les électrons secondaires en modifiant légèrement la méthode précédente. On doit dans les équations précédentes remplacer d par l, longueur du parcours de l'électron secondaire dans l'espace obscur, et V_0 par $\frac{V_0 l^2}{d^2}$, chute de potentiel de l'électron secondaire.

Dans le cas de la décharge normale, le calcul montre que l'ionisation par les électrons secondaires et tertiaires doit être très importante et rendre l'ionisation totale proportionnelle à $e^{kpd} - 1$ plutôt qu'à kpd.

Dans la décharge anormale, au contraire, l'ionisation subsidiaire serait insignifiante, et l'ionisation totale resterait proportionnelle à kpd.

La production d'électrons dans le gaz par chocs des électrons issus de la cathode ne saurait suffire à l'entretien de la décharge ; il doit donc intervenir quelque autre phénomène capable de renouveler le flux d'électrons venant de la cathode. Naturellement, les ions positifs produits par l'ionisation par choc seront dirigés vers la cathode par le champ qui règne dans l'espace obscur. C'est un fait bien établi que l'impact d'ions positifs contre une plaque métallique en expulse des électrons, dont le nombre dépend de l'énergie des ions positifs incidents et croît rapidement lorsque cette énergie croît. Les graphiques fournis par Bärwald (1919) et par Oliphant (1928) suggèrent que le nombre N d'électrons expulsés du métal par un ion d'énergie correspondant au potentiel V, en volt, est donné par une équation de la forme

$$N = \alpha + \beta V^2.$$

Il convient d'ajouter que, même si les ions n'ont pas d'énergie au moment où ils frappent la plaque, ils sont neutralisés et émettent des radiations, dont l'action photoélectrique sur la cathode donne aussi naissance à des électrons.

Soit $F(kpd, V_0)$ le nombre d'ions positifs produits ; le nombre d'électrons expulsés par les chocs de ces ions contre la cathode sera de la forme

$$F(kpd\ V_0)(\alpha + \beta V^2).$$

Si ce nombre est égal à 1, chaque électron issu de la cathode et qui traverse l'espace obscur sera automatiquement suivi d'un autre électron et la décharge s'entretiendra d'elle-même ; l'équation d'entretien est donc

$$F(kpd,\ V_0)(\alpha + \beta V_0^2) = 1.$$

Dans les conditions usuelles, cette équation prend la forme simple

$$\frac{kpd \times V_0}{V_0^2 + U^2}(\alpha + \beta V_0^2) = 1, \qquad (6)$$

où $U = 1{,}5\,M$. Si $\frac{\alpha}{\beta}$ est supérieur à U^2, on obtient, pour une valeur donnée de pd, trois solutions en V_0, dont deux stables : deux types de décharge sont possibles. Lorsque $\frac{\alpha}{\beta}$ est inférieur ou égal à U^2, il n'y a qu'une solution et un seul type possible de décharge.

On étudie ensuite la seconde condition qui doit être remplie pour que la décharge soit possible. On peut appeler cette condition l'équation caractéristique, car elle exprime la relation existant entre la densité de courant, la différence de potentiel et la distance entre les électrodes. Si la décharge est normale, donc que le courant n'utilise pas toute la surface des électrodes, la densité de courant peut prendre n'importe quelle valeur, dans un domaine très étendu, même lorsque l'intensité du courant est donnée ; alors l'équation caractéristique détermine la valeur appropriée de la densité de courant et n'impose pas de restrictions aux valeurs de pd et de V_0.

Si au contraire la décharge est anormale, si donc le courant utilise toute la cathode, la densité de courant est donnée et l'on a à rechercher les valeurs de pd et de V_0 qui satisfont à l'équation caractéristique et à l'entretien du courant.

Un exemple d'équation caractéristique est fourni par la relation bien connue des charges spatiales que l'on peut écrire

$$i d^2 = C V_0^{\frac{3}{2}}. \qquad (7)$$

Dans ce cas, l'équation d'entretien (6) est généralement valable et, si V_0 est grand par rapport à U, elle se réduit à

$$kpd\ V_0 \log_e \frac{4V_0}{M} = \text{constante},$$

ce qui donne, en tenant compte de (7),

$$V_0^{\frac{1}{2}} \log_e \frac{4V_0}{M} = \text{constante} \times \left(\frac{i}{p_2}\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (8)$$

dont la solution approchée est

$$V_0 = \text{constante} \times \left[\frac{\frac{i}{p^2}}{\log \gamma \frac{i}{p^2}}\right]^{\frac{2}{3}}$$

et

$$pd = \text{constante} \times \left(\frac{i}{p^2}\right)^{-\frac{2}{7}} \times \left[\log \gamma \left(\frac{i}{p^2}\right)\right]^{-\frac{3}{14}}$$

où γ est une constante.

Ainsi, V_0 croît et d décroît lorsque l'intensité du courant croît: ces deux effets sont bien connus. Et l'on aboutit à cette conséquence que la différence de potentiel nécessaire pour produire une très courte étincelle (kpd extrêmement petit) varie en raison inverse de la longueur de l'étincelle.

L'effet d'un champ magnétique transversal est d'allonger le parcours effectif de la décharge, donc de diminuer l'épaisseur de l'espace obscur, phénomène très frappant que l'on obtient aisément par application d'un champ magnétique intense. Pour une distance donnée des électrodes, ce champ magnétique produira un accroissement de la valeur de d, donc une diminution de V_0, différence de potentiel requise pour produire une étincelle. C'est encore ce que l'expérience a permis de vérifier. — L. B.

Absorption diélectrique et perte diélectrique (1).

La nature de la perte d'énergie dans les diélectriques soumis à un champ électrique alternatif n'est pas encore complètement élucidée. On a reconnu depuis longtemps qu'une absorption diélectrique, de la nature observée sous l'action d'un champ continu, doit rendre compte d'une partie au moins de la perte sous champ alternatif. Partant de l'analyse du phénomène d'absorption par Maxwell, Rowland (1897) put établir les expressions de la perte qui en résulte sous l'action d'un champ alternatif.

Une méthode un peu différente, et plus satisfaisante pour établir la relation entre l'absorption diélectrique et la perte diélectrique est celle de von Schweidler, qui prend pour point de départ la courbe expérimentale du courant de charge ou de décharge en fonction du temps. Par l'emploi du principe de superposition (Hopkinson-Curie), il fut à même d'écrire l'expression générale du courant alternatif résultant de l'application d'une force électromotrice harmonique à un instant quelconque. Ce courant admet deux composantes, qui donnent la valeur de la perte et aussi l'accroissement de la capacité par rapport à sa valeur géométrique pour le condensateur étudié. Si le diélectrique possédait une conductivité permanente résiduelle, la perte due à cette conductivité devrait être ajoutée à la perte due à l'absorption diélectrique. Jusqu'à présent, il n'a pas été tenté d'essais sur l'exactitude de cette analyse.

Rowland avait créé un électrodynamomètre sensible, de nombreux montages nouveaux de pont, et il fit avec ses collaborateurs des recherches étendues sur le comportement des diélectriques soumis à un champ alternatif. Il note, cependant, qu'il ne put trouver dans ses expériences qu'un accord qualitatif avec l'expression déduite des travaux de Maxwell.

Wagner, appliquant la théorie de Maxwell à certains cas simples, n'a signalé non plus qu'un accord largement qualitatif, dans les changements occasionnées par des variations de fréquence et de température. L'échec des efforts de cette sorte pour confronter l'observation avec la théorie est largement dû au fait qu'on n'a jamais pu trouver de diélectrique qui se conformât aux hypothèses fondamentales de Maxwell, et à cette autre raison que le phénomène d'absorption sous champ constant est en lui-même non clairement défini, et qu'il échappe d'ailleurs à l'explication présentée par Maxwell.

La méthode de von Schweidler est à l'abri de ces difficultés, en ce qu'elle est basée directement sur une courbe expérimentale. Mais, jusqu'à une date toute récente, il n'avait pas été possible de contrôler sa théorie, en raison de la difficulté de déterminer sa courbe expérimentale pour de très courts intervalles de temps après l'instant d'application de la différence de potentiel pour la charge, ou du court-circuit pour la décharge. Or, il est nécessaire de pouvoir noter la nature de la variation du courant durant un intervalle de temps relativement court par rapport à la période du courant alternatif pour lequel la perte doit être étudiée. Les seuls essais antérieurs, qui semblent se rapprocher de ces conditions, sont ceux de F. Tank, et il obtint un raisonnable accord avec les expressions de von Schweidler pour trois condensateurs sur six.

Le présent travail est relatif à une suite de recherches sur l'absorption et la perte d'un condensateur à isolement de papier imprégné d'excellente qualité. Les courbes de charge et de décharge ont été enregistrées au moyen d'un amplificateur à lampes et d'un oscillographe, à moins de 0,001 s de l'instant d'application de la différence de potentiel, et pour des valeurs de celle-ci égales à 500, 1 000 et 1 500 v, correspondant à celles auxquelles les mesures de perte sous tension alternative étaient faites. La perte était mesurée sur un pont de Schering de haute précision et protégé selon la méthode décrite ailleurs par l'auteur. La fréquence du courant était de 60 p: s. La perte calculée au moyen des expressions de von Schweidler est comparée ensuite avec les valeurs mesurées.

Les résultats obtenus sont les suivants : dans l'intervalle de temps compris entre 0,001 et 0,025 s après la fermeture du courant, les courbes $i = f(t)$ sont assez bien représentées par l'équation $i = ECpt^{-n}$, avec $n > 1$, dans la région du courant décroissant. Les portions initiales des courbes sont mieux représentées par $i = ECme^{-\alpha t}$.

On observe un accord précis entre la perte mesurée, et celle calculée sur l'hypothèse qu'elle est expliquée entièrement par l'absorption diélectrique. On obtient également l'accord entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées de l'accroissement de capacité lorsque la fréquence décroît, le calcul étant basé sur l'hypothèse que l'accroissement est dû à l'absorption diélectrique.

On n'a pas trouvé d'indications d'une conductivité initiale constante du diélectrique, ainsi qu'on l'a quelquefois supposé. — L. B.

(1) J.-B. Whitehead. *Journal of the Franklin Institute*, octobre 1929, p. 453-468, 3 000 mots, 11 figures.

Diffusion des électrons dans l'hydrogène atomique et moléculaire (1).

Le domaine de la diffusion des électrons présente actuellement un intérêt tout particulier, car la mécanique quantique, sous sa forme la plus récente, est capable de faire à son sujet des prévisions fermes et précises, qui ne sont pas les mêmes que celles fournies par les anciennes théories et qui sont, d'autre part, susceptibles de vérifications expérimentales. En fait, d'ailleurs, l'une des bases principales de cette mécanique quantique est son accord complet et précis avec les résultats obtenus par Davisson et Germer, G.-P. Thomson et autres, sur la diffusion des électrons par les surfaces métalliques. La diffusion des électrons dans les gaz fournit un autre moyen, légèrement différent, de mettre la théorie à l'épreuve de l'expérience.

(1) G.-P. Harnwell. *The physical Review*, 1er septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 661-672, 4 200 mots, 4 figures.

L'auteur du présent travail a trouvé récemment que la diffusion avec divers gaz était bien plus grande que ne le voudrait la théorie classique et, d'autre part, E.-G. Dymond a obtenu dans l'hélium des courbes de diffusion d'électrons en excellent accord avec les courbes théoriques calculées par N.-F. Mott. Ces résultats ont conduit l'auteur à penser qu'il serait particulièrement intéressant d'étudier le phénomène de diffusion des électrons dans l'hydrogène atomique. Théoriquement, ce cas est de beaucoup le plus simple. Les calculs sont exempts des approximations nécessaires dans l'état actuel de la théorie lorsqu'il s'agit d'atomes plus compliqués ou de molécules. A ce point de vue, l'hydrogène atomique est le gaz le plus indiqué pour la recherche ; mais malheureusement les difficultés expérimentales sont considérables. La plus importante de ces difficultés est d'obtenir une grande concentration d'hydrogène atomique dans la chambre de diffusion. De plus, comme il n'est pas possible d'avoir de l'hydrogène complètement à l'état atomique, il est important d'en connaître le coefficient de dissociation ; mais il n'a pas été trouvé possible de mesurer exactement ce coefficient, de sorte qu'il a fallu employer diverses méthodes d'estimation indirecte. Au cours de ce travail, l'auteur a étudié aussi de façon assez détaillée la diffusion dans l'hydrogène moléculaire et découvert quelques faits intéressants.

L'appareil était analogue à celui décrit antérieurement, mais avec quelques perfectionnements. La forme du filament émettant les électrons était celle d'une très étroite épingle à cheveux, ceci dans l'espoir de diminuer le champ magnétique dû au courant qui passe dans le filament. Celui-ci était complètement enfermé dans un cylindre de cuivre, dont la base était percée d'une fente.

Cette précaution était prise afin de rendre négligeable l'ionisation et la dissociation thermiques dans la région de diffusion et aussi de diminuer la grandeur de l'aire de la paroi de verre exposée au filament, pour le cas où le verre n'aurait pas été complètement débarrassé des gaz occlus. La fente de sortie des électrons était réglable et pouvait être rendue très fine, de sorte que le faisceau émergeant était défini avec plus de précision qu'antérieurement. Comme dans le précédent appareil, les électrons étaient accélérés vers la première fente par un champ uniforme, puis ralenti à la vitesse désirée par un champ de sens opposé appliqué entre la première et la seconde fente. Le « canon à électrons » était animé d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe perpendiculaire au faisceau sous l'action d'un mouvement d'horlogerie ; le dispositif de mesure des angles était aussi plus précis que dans le précédent appareil. Les électrons diffusés suivant un angle θ étaient admis dans l'analyseur électrostatique, muni de fentes très fines, de façon à accroître la précision. La paroi interne de la chambre à diffusion était garnie de platine pulvérisé, afin de la rendre conductrice et d'éviter des erreurs dues à des charges électrostatiques parasites. Le canon à électrons tournait autour d'un axe creux et le gaz diffusant était admis à travers l'axe au moyen d'un tube de verre. La pression dans la chambre à diffusion était d'ordinaire beaucoup plus élevée et plus uniforme que dans l'analyseur. Le gaz admis était emprunté à la région centrale d'un tube à décharge de Wood. La chambre à diffusion était disposée au centre d'un système de bobines, destinées à neutraliser l'effet du champ terrestre et autres champs magnétiques parasites.

Malheureusement, on n'a pas trouvé le moyen de compenser complètement ces champs magnétiques parasites. La principale difficulté émanait du courant de filament. Son accroissement donnait lieu à un léger déplacement de l'échelle ; mais l'erreur maximum en résultant restait limitée à 2 ou 3 pour 100.

On estime que, quand le tube à décharge était en action, il y avait plus de 60 pour 100 de l'hydrogène à l'état atomique. Pour une vitesse électronique et une position angulaire données, le spectre d'énergie des électrons pouvait être décomposé en maxima, qu'on suppose être dus à des chocs élastiques, inélastiques et ionisants. On a trouvé que des pertes inélastiques d'énergie correspondant au produit de 8 v environ par la charge d'un électron ou au produit de 12,5 v par la charge d'un électron, se produisaient fréquemment. Connaissant les aires des portions de plan comprises au-dessous de ces maxima, on pouvait en déduire le nombre d'électrons diffusés suivant l'angle correspondant. A partir de ces résultats, on a pu déterminer graphiquement le nombre d'électrons diffusés élastiquement en fonction de l'angle de diffusion, pour l'hydrogène atomique ou moléculaire. Dans les deux cas, la diffusion suit une marche semblable. Dans le premier cas, les résultats obtenus sont en bon accord avec les courbes théoriques que prévoit la mécanique quantique. — L. B.

Les méthodes de recherche en métallographie [1].

Les résultats obtenus dans les recherches métallographiques doivent, pour être féconds, pouvoir être interprétés sans ambiguïté par la théorie. Il convient pour cela de se placer aussi près que possible des conditions théoriques, c'est-à-dire, le plus souvent, au voisinage de l'état d'équilibre thermodynamique parfait. Mais dans les cas extrêmes, à savoir, très près ou très loin de cet état, des difficultés expérimentales apparaissent et amènent l'incertitude dans l'interprétation et la prévision des résultats.

1. Introduction. — La métallographie, dont le domaine s'étend aujourd'hui jusqu'à l'étude de l'arrangement spatial des atomes, à l'exclusion de leur configuration, comporte deux branches distinctes, et par leur objet et par leurs méthodes de recherches. La métallographie chimique, d'une part, cherche à établir des relations entre les propriétés des divers métaux et étudie tout particulièrement les alliages. La métallographie physique, d'autre part, étudie la structure des métaux et leur façon de se comporter sous diverses conditions physiques. Bien que liées, ces deux branches de la science se sont développées séparément, la première ayant trouvé dans la loi des équilibres en milieu hétérogène une base de départ qui dispense de recourir à des considérations physiques d'un ordre plus élevé.

Cette loi a des bases thermodynamiques solides et ne saurait être trangressée. Malheureusement nos procédés d'investigations sont loin d'être parfaits et l'interprétation d'un diagramme d'équilibre par des considérations théoriques tirées de cette loi est souvent difficile, en particulier lorsque le nombre des constituants indépendants devient supérieur à 2. L'étude d'un système ternaire ou quaternaire est le plus souvent sujette à caution.

2. Difficultés techniques rencontrées en métallographie. — Le procédé d'étude le plus courant en métallographie chimique étant l'établissement d'un diagramme d'équilibre, les recherches n'auront de valeur, dans cette branche,

[1] G. Masing. *Engineering*, décembre 1929, t. CXXVIII, p. 756-758, 4 000 mots, 6 figures.

qu'autant que la mesure des grandeurs physiques servant à établir le diagramme sera précise.

La mesure des températures est faite le plus souvent au moyen des couples thermoélectriques et peut être très précise si l'on a soin d'utiliser un galvanomètre à miroir au lieu d'un millivoltmètre comportant des pivots (surtout dans le cas de mesures continues comme c'est le cas dans l'étude des courbes de refroidissement). La détermination de la composition de l'alliage soulève aussi des difficultés. En effet s'il est relativement facile de connaître, par l'analyse l'altération éventuelle au contact de l'atmosphère (évitée d'ailleurs par l'emploi d'un gaz inerte), il semble peu aisé d'éviter une altération par la matière même du creuset de fusion ; l'alliage peut ainsi devenir un système à plusieurs constituants dont les propriétés peuvent s'écarter largement du système primitif.

Enfin on sera évidemment guidé, dans le choix du phénomène physique indicateur, par l'examen de l'approximation actuellement atteinte dans la mesure de ce phénomène. On a tendance à utiliser de plus, en plus, aujourd'hui, la conductibilité électrique.

3. Causes d'erreurs dans les mesures faites près d'un état d'équilibre. — La plus grande difficulté que l'on rencontre dans l'établissement d'un diagramme réside dans la lenteur de l'atteinte de l'équilibre dans l'état d'un solide. Si l'on ne tient pas un compte étroit de ce fait, on risque d'établir des diagrammes différant sensiblement des diagrammes théoriques. Les résultats acquis, en dépit de toute la précision des mesures, n'ont plus alors de valeur scientifique véritable.

Les méthodes d'investigation qui dépendent de la vitesse d'équilibre de l'alliage sont donc à rejeter. C'est le cas de l'étude thermique, à laquelle on préfèrera l'étude de la conductibilité électrique qui n'est pas sujette à cet inconvénient. Certains alliages présentent d'ailleurs une très grande lenteur à changer d'état et il est pratiquement impossible d'obtenir l'équilibre par le seul effet du temps. On a recours dans ce cas à des méthodes particulières, telles que la trempe suivie de recuit à la température voulue ou à un traitement mécanique précédant le refroidissement.

4. Cas des alliages cuivre-beryllium. — Les laboratoires Siemens et Halske ont récemment déterminé les limites d'existence de la phase α de ces alliages, contenant moins de 2 pour 100 de béryllium, en déterminant, d'une part, la conductibilité de la solution solide α et d'autre part celle de l'alliage à différentes températures. Les points d'intersection de la première courbe avec les dernières donnaient la composition de la phase α aux températures considérées. L'équilibre étant très long à s'établir, on le produisait par l'un des deux procédés cités plus haut. On fut ainsi amené à remarquer que le point à 1 pour 100 de béryllium, se trouvait à 400°C sur la courbe de saturation, sans qu'une augmentation de la conductibilité indiquât une précipitation quelconque. Or, l'alliage était dans ces conditions sursaturé, par rapport à la phase α à environ 0,25 pour 100. On eût été amené à penser que cette sursaturation était trop faible et la réaction trop lente pour amener la précipitation si l'étude microscopique de l'alliage n'avait montré, à côté de la forme α, la présence d'un cristal de la phase γ précipitée. La seule considération de la conductibilité risquait donc d'amener à des conclusions fausses. Pour éviter cela, on est conduit à opérer sur des alliages à plus forte teneur en béryllium et d'extrapoler pour les teneurs plus faibles, ce qui réduit évidemment la précision du diagramme.

Pour l'étude des alliages à faible teneur et dans les cas où la solubilité du métal ajouté est grande on obtient de meilleurs résultats, en utilisant, comme phénomène indicateur, la densité ou la constante du réseau cristallin.

5. Cas des alliages loin de l'état d'équilibre. — Un problème très important, en pratique industrielle, est celui qui consiste à étudier la façon dont se comportent les alliages refroidis sans précautions spéciales, les alliages trempés et ceux qui subissent le phénomène du vieillissement. Il semble difficile d'appliquer, comme on le fait souvent, les lois de l'équilibre en milieu hétérogène à ces cas qui sont loin de présenter à tout instant un état d'équilibre stable. Il est au contraire probable que les transformations s'opèrent alors selon un mécanisme différent.

Prenons l'exemple de la transformation de la martensite en perlite, qui dégage environ deux fois plus de chaleur à la suite d'une trempe que pendant un refroidissement lent. Des recherches récentes, faites en Allemagne, ont montré que, dans le premier cas, la transformation avait lieu rapidement vers 300°C et que la courbe d'équilibre différait totalement de la courbe habituelle établie à haute température. Il est probable que la formation d'une grande quantité de germes compense ici la faible vitesse de transformation, mais il est difficile de le justifier théoriquement. De même il paraît hasardeux d'affirmer que les premiers cristaux de perlite ainsi formés ont une composition identique à celle qui correspond à l'équilibre comme on le déduirait de l'application de la loi des phases.

Ces deux exemples font ressortir les erreurs importantes qui peuvent s'introduire accidentellement en métallographie chimique par l'insuffisante précision des phénomènes indicateurs ou par une généralisation trop hâtive de la théorie. En métallographie physique les causes d'erreur sont d'un autre ordre.

6. Procédés d'investigation en métallographie physique. — Dans cette branche, on procède le plus souvent à des essais « techniques » partant sur des produits industriels dans des conditions aussi proches que possible de la pratique. Cette méthode qui ne s'appuie pas sur l'observation précise des propriétés physiques caractéristiques du métal étudié n'a qu'une faible valeur scientifique et n'apprend rien sur le mécanisme intime des phénomènes observés. Ces essais techniques sont plus des méthodes de vérification que d'investigation. Lorsqu'on voudra, par exemple, rechercher par des essais physiques, une modification de la métallurgie propre à améliorer une qualité particulière du métal étudié, il faudra s'adresser à des essais en quelque sorte théoriques où l'affranchissement des conditions pratiques permettra de s'entourer de toute la précision désirable. C'est seulement ainsi que l'on arrivera à des résultats interprétables théoriquement et possédant par suite une valeur scientifique certaine ; la métallographie physique ne peut progresser qu'à cette condition : Des résultats très remarquables ont d'ailleurs été obtenus dans cet ordre d'idées, en particulier par Glocker dans des recherches sur le laminage en vue d'améliorer la structure fibreuse des métaux laminés. — A. A.

SECTION INDUSTRIELLE

La mesure des courants continus de forte intensité

La mesure des courants continus de forte intensité employés dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques comporte des causes d'erreurs trop souvent négligées. Etant donné l'importance des puissances en jeu, il est nécessaire, pour réduire la valeur absolue des erreurs, de prendre des précautions spéciales. L'auteur indique une méthode d'étalonnage des shunts de gros calibre, qui constituent la base de ces mesures ; cette méthode utilise deux procédés différentiels, celui d'opposition de flux, imaginé par M. Pestarini et perfectionné par la méthode de corrections magnétiques, et celui d'opposition des forces électromotrices aux bornes des shunts dans le galvanomètre différentiel.

I. **Principe du shunt.** — Le principe de la mesure d'un courant continu à l'aide d'un shunt est une application directe de la loi d'Ohm. Si l'on insère une résistance r dans le circuit dans lequel on veut mesurer le courant et si on mesure la chute de tension u aux bornes on a

$$i = \frac{u}{r}.$$

Le shunt est déterminé par le courant maximum I qu'il peut supporter et par la tension entre a et b (fig. 1)

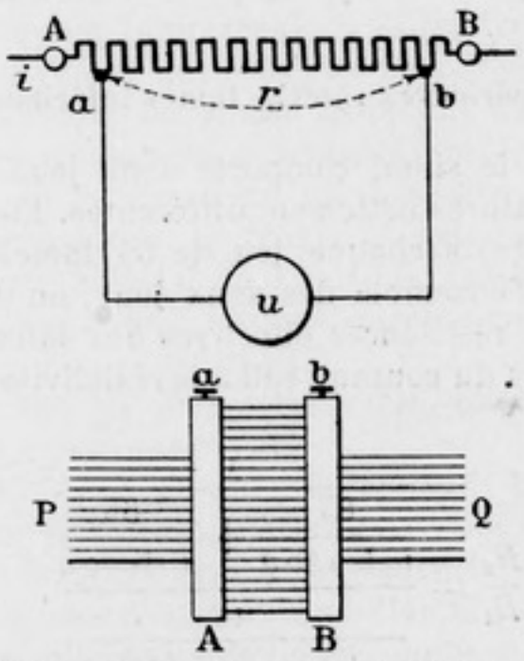


Fig. 1. — Schémas de montage et de la disposition générale d'un shunt : A, B, blocs fondus; P, Q, lames de prise de courant en cuivre; a, b, bornes du shunt.

qui correspond à I ; a et b étant les bornes du shunt et A et B ses prises.

On voit immédiatement que la position des points a et b détermine le shunt et que par conséquent le millivoltmètre servant à mesurer u devra être étalonné avec les deux cordons qui servent à le brancher aux bornes du shunt. On voit également que le courant dérivé dans le circuit du millivoltmètre devra être négligeable par rapport à celui qui traverse le shunt, autrement dit que la résistance du millivoltmètre et de ses cordons devra être très grande par rapport à celle du shunt.

On se rend compte également de la nécessité de choisir, pour constituer la résistance du shunt, un alliage dont la résistivité ait un coefficient de température négligeable, ce qui est le cas des alliages de cuivre et manganèse.

Enfin, on a évidemment intérêt à choisir la plus grande valeur possible pour la tension u de façon que la tension due à l'effet Seebeck, qui est la somme algébrique des deux forces électromotrices de signes contraires aux contacts, soit négligeable à la température maximum à laquelle le shunt doit être soumis.

II. **Etalonnage des shunts.** — 1. Shunts de petit calibre. — La détermination de la constante d'un shunt prévu pour un faible courant, son étalonnage autrement dit, n'offre pas de difficultés ; on peut en effet mesurer le courant i à l'aide d'un ampèremètre étalon direct, c'est-à-dire dont les indications sont influencées directement par le courant à mesurer, tel qu'un ampèremètre électrodynamique, par exemple ; on peut mesurer la tension u à l'aide d'un millivoltmètre étalon. Il s'agit naturellement de vérification industrielle ; dans le cas d'une vérification de laboratoire, le courant peut être mesuré à l'aide d'une méthode voltamétrique avec le voltamètre à azotate d'argent, ou encore la résistance du shunt peut être mesurée directement par une méthode de zéro (pont de Wheatstone ou le pont double de Kelvin) par comparaison à une résistance étalon. En résumé, il suffit, pour étalonner un shunt de petit calibre, de vérifier sa résistance.

2. Shunts de grand calibre. — Cette règle ne s'applique plus aux shunts pour forte intensité du courant, tels que ceux qui sont nécessaires pour les courants continus utilisés en électrochimie ou en électrométallurgie, qui atteignent 10 000 ou 20 000 A ou même davantage ; ici de nouvelles méthodes de vérification

sont indispensables pour faire des mesures avec une précision suffisante.

Considérons un shunt prévu pour 24 000 A, la tension aux bornes étant de 0,1 V, ce qui correspond à une résistance de

$$\frac{0,1}{24\,000} = 0,000\,004\,15 \text{ ohm, ou } 4,15 \text{ microhms.}$$

Ce shunt est constitué par un grand nombre de lames en manganine en parallèle, entre les deux blocs A et B en cuivre. Les blocs ont été coulés autour des lames ; le shunt est donc du type « fondu » ne présentant aucune soudure ; les lames des prises P et Q sont également noyées dans les blocs A et B de la même manière et sont en nombre tel que la surface totale de connexion avec les barres soit suffisante.

En deux points a et b situés sur les blocs sont prévues les bornes du shunt constituées par les vis de fixation des fils d'alimentation du millivoltmètre.

La chute de tension entre les deux points a et b est composée de la chute de tension dans les lames de manganine, de la chute de tension dans les blocs, dans la partie comprise entre a et b, et de la tension thermo-électrique résultante, due à l'élévation de température des contacts cuivre-manganine et manganine-cuivre.

L'examen théorique et pratique de ces trois éléments composant la chute de tension est nécessaire pour l'étalonnage du shunt.

1° *Influence des lames de manganine.* — Un tel shunt convenablement autoventilé (lames verticales), la température ambiante ne dépassant pas la limite convenue habituellement de 35°C, peut évacuer la quantité de chaleur qui lui est fournie par le passage du courant correspondant à

$$RI^2 = 0,000\,004\,15 \times \overline{24\,000}^2 = 2\,400 \text{ W,}$$

Cette évacuation est assurée :

a) Par convection, par l'échauffement de l'air qui passe entre ses lames de bas en haut ;

b) Par conductibilité, par l'échauffement des barres de connexion ;

c) Par radiation.

On peut admettre que toutes les lames étant identiques, chaque lame évacue la même quantité de chaleur par conductibilité dans les blocs A et B ; mais la radiation et la convection sont très différentes entre les diverses lames, et naturellement plus faibles pour les lames centrales que pour les lames extrêmes, si bien que la température des lames doit être plus élevée au centre du shunt que sur les bords, et pour les lames supérieures que pour les lames inférieures ; c'est ce que l'on constate en effet sur un shunt convenablement monté et parcouru par un courant voisin du calibre nominal.

Il s'ensuit, le coefficient de température de la manganine n'étant pas nul, une certaine hétérogénéité de la répartition du courant entre les diverses lames du shunt, donc une certaine erreur que l'on peut évaluer expérimentalement grâce aux dispositifs décrits plus loin.

Soient r_1, r_2, r_3, ... r_n les résistances des lames du shunt. En négligeant toute chute de tension dans les blocs, on peut écrire que la résistance des lames R est

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots\ldots + \frac{1}{r_n}}. \qquad (1)$$

Si la température du shunt est homogène pour toutes les lames, on a

$$r_1 = r_2 = r_3 \ldots\ldots = r_n = r_0,$$

d'où

$$R_0 = \frac{r_0}{n}. \qquad (2)$$

Sur le shunt de 24 000 A, 0,1 V, comprenant 130 lames (65 supérieures, 65 inférieures), la température observée était répartie de la façon suivante :

Intensité du courant.	Température ambiante.	Lames supérieures. degrés centésimaux	Lames inférieures. degrés centésimaux
10 750 A	25°C	72-76-78-77-77-75	46-49-47
18 900 A	25°C	131-141-147-141-140-138	68-72-68

En admettant les températures moyennes suivantes :

pour 10 750 A,

lames supérieures, 75°C, lames inférieures, 47°C ;

pour 18 900 A,

lames supérieures 140°C, lames inférieures, 70°C,

on voit que le shunt comporte deux jeux de lames à des températures nettement différentes. En appliquant la formule (2) à chaque jeu de 65 lames et la formule (1) à l'ensemble des deux jeux, on peut faire le rapport des résistances effectives des lames. Pour les deux valeurs du courant, soit a la résistivité des lames, on a

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\dfrac{1}{\dfrac{65}{1+140a} + \dfrac{65}{1+70a}}}{\dfrac{1}{\dfrac{65}{1+75a} + \dfrac{65}{1+47a}}},$$

R_1 étant la résistance correspondant à 10 750 A et R_2, à 18 900 A.

Pour le cœfficient de température $a = 4 \times 10^{-3}$ on a

$$\frac{R_2}{R_1} = 1,0015 \text{ environ ;}$$

la résistance des lames augmente de 0,15 pour 100 pour une variation du courant de 10 750 A à 18 900 A.

Si on compare par la même méthode la résistance

des lames à froid avec celle à 18 900 A, on arrive à un écart de 0,4 pour 100 environ.

2° *Influence des blocs.* — Si on mesure les chutes de tension entre chacune des bornes a et b et le bord intérieur du bloc correspondant, on trouve les résultats consignés dans le tableau I.

TABLEAU I. — *Chutes de tension dans les blocs d'un shunt à forte intensité de courant.*

I ampères	TENSION ENTRE BORNES millivolts	TEMPÉRATURE DES BLOCS degrés centésimaux	CHUTE DE TENSION DANS LES BLOCS millivolts	millivolts	CHUTE DE TENSION TOTALE millivolts	centièmes
12 500	49,8	50°	0,50	0,40	0,90	1,8
19 100	75,8	74°	0,85	0,70	1,55	2,1

L'augmentation de l'influence des blocs dans les deux cas envisagés est donc de 0,3 centième.

On voit ainsi que la chute de tension efficace totale dans les blocs du shunt, qui sont en cuivre et dont le coefficient de température est voisin de 4×10^{-3}, peut provoquer facilement une avance de 0,5 centième lorsque le shunt est à sa température de régime normal et plus encore si, la température ambiante étant trop élevée, le refroidissement est insuffisant.

3° *Influence de l'effet Seebeck.* — La source principale d'échauffement du shunt réside dans la résistance des lames de manganine; l'effet Seebeck résultant est en principe très faible puisque les deux contacts cuivre-manganine et manganine-cuivre sont sensiblement à la même température et donnent donc deux forces électromotrices égales et de signes contraires. Il est néanmoins intéressant de se rendre compte de cette cause d'erreur qui peut être positive ou négative.

Si l'on chauffe un shunt dans une étuve, à une température voisine de sa température de régime, en réunissant ses bornes à un galvanomètre sensible et de grande résistance, on trouve en général que l'effet Seebeck varie au total de 0,2 à 0,5 dixième de millivolt comprenant deux forces électromotrices opposées variant de 0,2 à 0,4 millivolt.

Dans les cas les plus défavorables cette erreur peut atteindre 0,1 pour 100.

4° *Conclusion.* — Ce qui précède suffit pour démontrer que la vérification de la résistance à froid d'un shunt pour forte intensité de courant est en principe insuffisante et peut conduire à un étalonnage non rigoureux ne permettant pas de tenir compte, le cas échéant, de l'influence de la température.

Or, ces shunts sont indispensables pour de fortes intensités de courant dans l'alimentation des ampèremètres (millivoltmètres), relais, compteurs, etc., et l'on ne voit pas dans l'état actuel des choses le moyen pratique de s'en passer.

Un nouveau mode de vérification des shunts de gros calibre s'imposait donc dans les conditions réelles de fonctionnement définies par les trois conditions suivantes :

1° Le shunt monté dans les meilleures conditions pratiquement réalisables;

2° Le shunt parcouru par un courant voisin du courant nominal;

3° Le shunt à la température de régime correspondante.

Il fallait donc recourir à une autre méthode de mesure des courants continus à forte intensité; nous avons appliqué la méthode d'opposition de flux imaginée par M. Pestarini, pour la construction de l'ampèremètre différentiel créé par lui (1)..

III. **Principe de l'ampèremètre Pestarini-Carpentier.** — Le principe de la méthode consiste à disposer autour de la barre dans laquelle passe le courant à mesurer, *I*, un circuit magnétique (fig. 2) dans lequel on annule le flux dû à ce courant par un flux

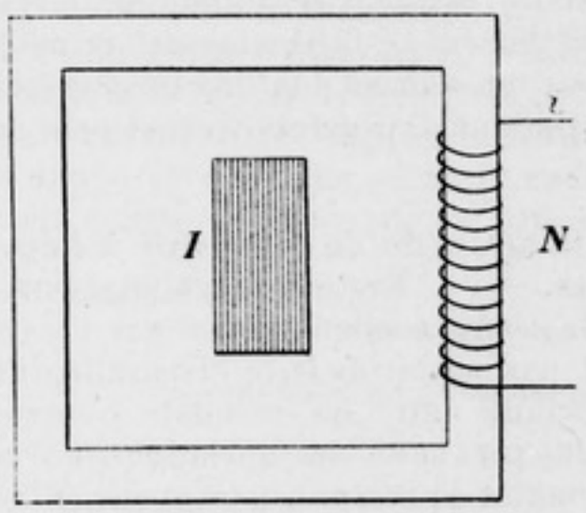


Fig. 2. — Schéma de principe de l'appareil Pestarini.

antagoniste que crée un enroulement à grand nombre *N* de spires parcouru par un courant *i* de faible intensité. Quand les deux flux sont égaux on a évidemment $I = Ni$. C'est donc une méthode de zéro. Pour apprécier l'égalité des flux, le circuit magnétique, dont la forme est indiquée sur la figure 3, comporte un petit entrefer dans lequel on fait tourner un petit induit de génératrice à courant continu à l'aide d'un petit moteur extérieur. Aux bornes de cet induit on mesure la tension, créée par le flux à l'aide d'un millivoltmètre de zéro. Quand la tension est nulle aux bornes de l'induit, l'équilibre des flux est réalisé et il suffit de lire l'in-

(1) *Brevet français n° 626 436.*

tensité du courant i pour en déduire I, sachant que $N = 3\,000$ spires. Le courant i peut atteindre jusqu'à 10 A; on peut donc mesurer I jusqu'à 30 000 A.

La forme du circuit magnétique est telle que l'entrefer est protégé contre les champs magnétiques extérieurs et que seul le courant passant dans le noyau agit sur cet entrefer.

On remarque que le zéro de cet appareil peut être faussé par le magnétisme rémanent du noyau, bien que celui-ci soit en métal convenablement choisi. Pour éviter cette cause d'erreur systématique, un enroule-

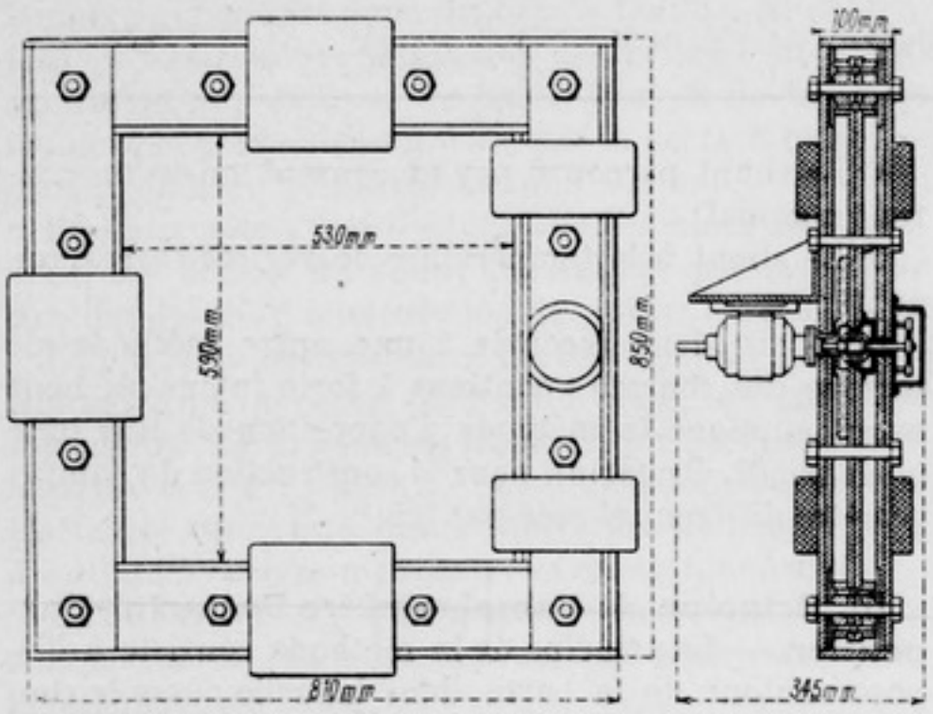


Fig. 3. — Coupe et plan de l'appareil Pestarini-Carpentier.

ment auxiliaire est disposé autour du noyau magnétique parallèlement à l'enroulement principal et est parcouru par un courant dont on inverse lentement le sens en le diminuant progressivement pour annuler la rémanence.

IV. **Application de ce dispositif à l'étalonnage des shunts.** — 1. Etalonnage du dispositif. — Cette méthode de compensation prévue par l'inventeur ne nous ayant pas permis de faire disparaître des écarts assez importants entre les résultats obtenus sur un même shunt, par suite des variations du courant à mesurer pendant la mesure, nous avons été conduits à perfectionner le mode opératoire; il s'agissait d'éliminer les erreurs accidentelles dues aux variations du courant primaire qui donnent lieu à des variations du flux résultant. Ces erreurs nous amenaient à une précision maximum de $\pm$ 1 pour 100 pour l'étalonnage d'un shunt de 20 000 à 25 000 A.

Nous avons procédé à l'étalonnage du dispositif en traçant la caractéristique à vide (fig. 4) et à vitesse constante de la dynamo détectrice, le courant primaire I étant nul, c'est-à-dire la barre principale étant coupée. Cette caractéristique, établie pour les deux sens du courant secondaire, donne le cycle d'hystérésis du noyau magnétique, sur lequel on a

pour $i = 0$, $E_0 = 2{,}9$ V,
pour $E = 0$, $i_0 = 0{,}13$ A.

La valeur de i_0 correspondant au champ coercitif est une constante de l'appareil tant que le noyau magnétique n'est modifié d'aucune manière. Donc lors d'une mesure, on aura, en opérant comme nous allons l'indiquer,

$$I = 3\,000\,(i - 0{,}13), \text{ en ampères.}$$

La méthode reste une méthode de zéro et la vitesse de la dynamo n'intervient pas. La manœuvre de la compensation devient inutile.

La mesure instantanée ne peut pas être faussée par les variations des courants primaire et secondaire et la seule précaution à prendre est de suivre la courbe d'hystérésis sans revenir en arrière.

Le mode opératoire est le suivant :

Le courant I à mesurer étant établi, on règle le courant i pour que le champ qu'il crée s'ajoute à celui du

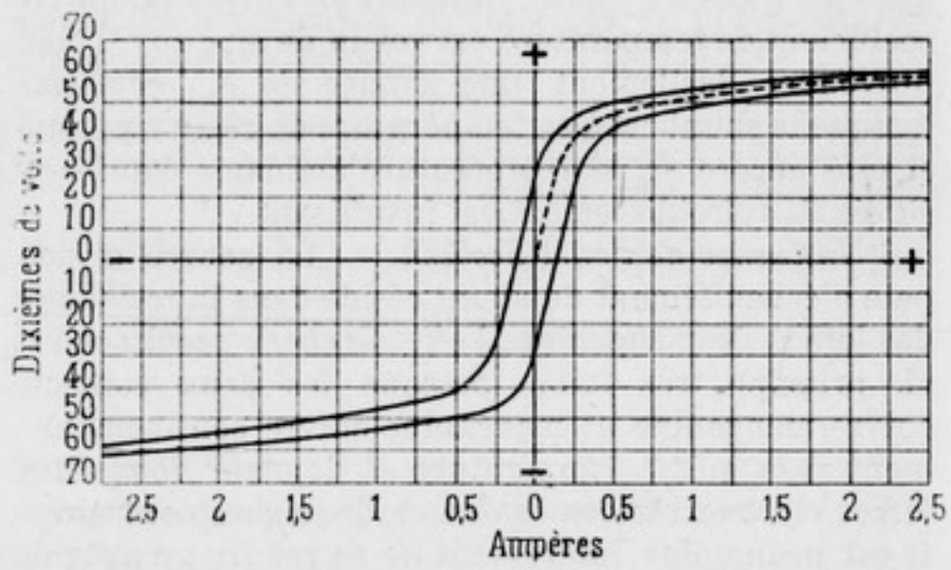


Fig. 4. — Caractéristique à vide de la dynamo détectrice de l'ampèremètre Pestarini-Carpentier (cycle d'hystérésis) à la vitesse de 3 600 t : mn.

courant primaire et on augmente i jusqu'à ce que le voltmètre indique au moins 6,6 V, ce qui est facile ; à ce moment le noyau est à la pointe de saturation ; on diminue i jusqu'à zéro, on inverse i et on le règle en l'augmentant jusqu'à ce que le voltmètre indique zéro. A ce moment on lit i et l'indication du millivoltmètre branché aux bornes du shunt à vérifier.

La valeur de i_0 peut être déterminée à chaque mesure, car, avant de faire la lecture quand le voltmètre est au zéro, on peut la faire pour avoir une valeur quelconque de E, par exemple, et, de préférence, pour $E_0 = 2{,}9$ V, en mesurant la vitesse n en tours par minute. On a alors

$$I = 3\,000\left(i - i_0 \times \frac{2{,}9}{E} \times \frac{n}{3\,600}\right)$$

Ainsi est par conséquent confirmée la correction à faire.

On a le tableau de mesure suivant :

Pour $E = 0$, $i = i_1$,
Pour $E = 2{,}9$ V, $i = i_2$,

d'où

$$i_0 = i_2 - i_1 \qquad \text{et} \qquad i = \frac{i_0 + 0{,}13}{2}.$$

L'essai à vide de l'appareil Pestarini nous permet donc :

1° D'employer une méthode plus correcte (et d'ailleurs plus simple) et de porter la précision pour la vérification des shunts de ± 1 à ± 0,3 centième environ ; il n'y a plus d'écarts notables entre les mesures ;

2° De constater que l'erreur systématique qui serait due à l'hystérésis et à la rémanence du noyau, erreur qui est constante en valeur absolue, est, en valeur relative (et par excès), de $\frac{0{,}13}{i}$, soit

Pour I = 5 000	ampères	.....	8	centièmes
10 000	id	.....	4	id
15 000	id	.....	2,5	id
20 000	id	.....	2	id
25 000	id	.....	1,5	id
30 000	id	.....	1,3	id

Ces corrections étant appliquées, la mesure d'un courant de 20 000 A peut ainsi se faire avec une grande exactitude à ± 0,2 pour 100 près environ.

2. Mode opératoire. — Pour la vérification d'un shunt, celui-ci étant installé sur les barres autour desquelles est disposé le noyau de l'ampèremètre Pestarini (fig. 5), il est nécessaire dans cet étalonnage de mesurer non seulement I, mais aussi la tensien U aux bornes du shunt ; désignons par K le rapport nominal $\frac{I}{U}$ du shunt. Si on exprime l'intensité i du courant secondaire de l'appareil Pestarini en millivolts u, l'erreur ε du shunt est

$$\varepsilon = \frac{i - I}{i} = \frac{3\,000\,u - K\,U}{3\,000\,u},$$

on voit que l'erreur maximum sur ε est la somme des erreurs sur 3 000 $u - KU$ et sur 3 000 u.

En étalonnant très minutieusement le millivoltmètre aux bornes du shunt et l'ampèremètre du secondaire de l'appareil Pestarini, on arrive à être certain de chacune de ces deux lectures simultanées à ± 0,1 pour 100 près (0,1 division sur 100 divisions) et

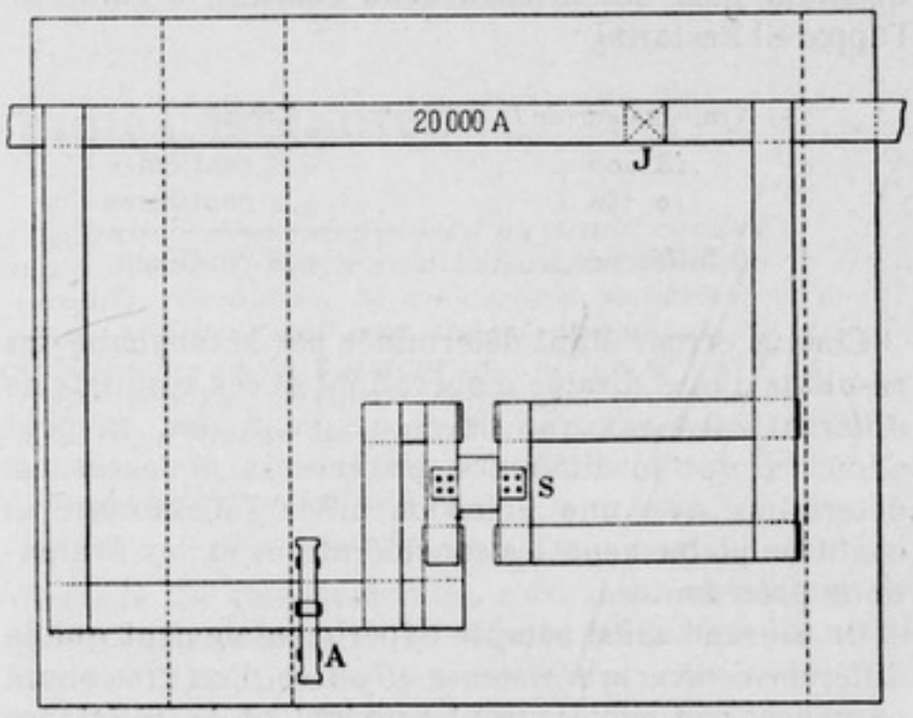


Fig. 5. — Schéma de montage de l'appareil Pestarini pour l'étalonnage des shunts : A. appareil Pestarini ; J, joint ; S, shunt.

finalement les valeurs que l'on trouve pour l'erreur en centièmes d'un même shunt varient d'une mesure à l'autre de ± 0,2 à ± 0,3 au maximum.

Exemple d'un tableau de mesure et résultats numériques. — Sur le tableau II sont enregistrés des résultats de mesure avec shunt et avec l'appareil Pestarini et les corrections à apporter dans l'un et l'autre cas.

Ce tableau donne une idée de la précision avec

Tableau II. — *Résultats comparés de mesures et corrections des valeurs lues*

Shunt 45 521 — 25 000 A ; 0,1 V	Shunt : K = 250 sur millivoltmètre, 100 millivolts				Appareil Pestarini : K = 3 000				
Conditions générales des mesures.	Valeurs lues.	Corrections d'étalonnage	Corrections de champ	Valeurs corrigées	Courant ampères	Valeurs lues.	Valeurs lues — i_0, corrigées pour tenir compte de i_0.	Courant.	Erreurs.	Erreurs moyennes.
	mv	mv	mv	mv	A	A	A	A	centièmes	centièmes
Conditions normales d'emploi.	79,8	— 2,9	+ 0,5	82,2	20 500	6,95	6,82	20 460	+ 0,2	
	79,9	3,0		82,4	20 550	6,98	6,85	20 550	0	
	79,6	2,8		81,9	20 480	6,97	6,84	20 520	— 0,2	— 0,3
Température maximum 135°	79,7	2,8		82,0	20 480	6,98	6,85	20 550	— 0,3	
	79,0	2,4		80,9	20 250	6,91	6,78	20 340	— 0,4	
Ambiante 27°.	80,0	3,0		82,5	20 600	7,02	6,89	20 670	— 0,3	

laquelle la méthode décrite ci-dessus permet de vérifier l'exactitude d'un tel shunt dans les conditions réelles de son emploi.

On a vu précédemment qu'un shunt vérifié à froid pouvait présenter à chaud trois causes d'erreurs : hétérogénéité de la température des lames de manga-

nine; augmentation de la température des blocs de cuivre et effet Seebeck. De plus, pour deux intensités du courant différentes, les erreurs calculées ou mesurées peuvent être (entre 18 900 A et 10 750 A) respectivement de + 0,15; + 0,30 et ± 0,05 centième, soit au total + 0,4 à + 0,5 centième.

Voici les résultats de la vérification du shunt en question pour ces intensités du courant, à l'aide de l'appareil Pestarini :

Vraie valeur de *I*.	Erreur.
18 900 A	— 3,8 centièmes
10 750 A	— 4,4 centièmes
Différence.....	+ 0,6 centième

Chaque erreur étant déterminée par la moyenne des résultats d'une dizaine d'opérations et ces résultats ne différant entre eux que de ± 0,2 pour 100, on peut admettre que la différence des erreurs ci-dessus est déterminée avec une précision assez satisfaisante et confirme pleinement les considérations et les évaluations précédentes.

On se rend ainsi compte expérimentalement que la différence entre la résistance effective d'un gros shunt parcouru par son courant nominal et la résistance théorique mesurée à froid peut atteindre facilement 1,5 centième et même davantage. De plus, le mode d'étalonnage décrit précédemment permet de tracer la courbe d'erreur du shunt en fonction de l'intensité du courant qui le traverse pour une température ambiante déterminée, ce qui augmente encore l'exactitude des mesures que l'on peut effectuer avec ce shunt.

Sur la figure 6 est représenté le montage de trois shunts de 22 000 A en série pour leur étalonnage à

Fig. 6. — Vue du montage de trois shunts de 22 000 A en série pour leur étalonnage à l'aide de l'appareil Pestarini.

l'aide de l'appareil Pestarini dont on voit le noyau magnétique, du côté du moteur d'entraînement de l'induit détecteur de flux, entouré de ses bobines. Les fils qui alimentent l'appareil et les cordons du shunt en vérification sont dirigés dans une salle voisine jusqu'aux appareils de mesure; le shunt en vérification est muni de trois thermomètres placés à la partie supérieure des lames.

3. Perfectionnement apporté a ce mode opératoire. — Dans le but de simplifier encore la méthode, de la rendre plus commode et surtout d'éliminer la nécessité de l'étalonnage minutieux des millivoltmètres, qui doit être fait pour ainsi dire pour toutes les divisions, afin que soient éliminés les défauts pratiques de graduation des appareils à cadre mobile et à aimant, nous avons imaginé de mesurer directement l'erreur du shunt par la méthode différentielle suivant le montage indiqué sur la figure 7.

De cette façon l'erreur maximum accidentelle se réduit à celle du galvanomètre différentiel, soit à une

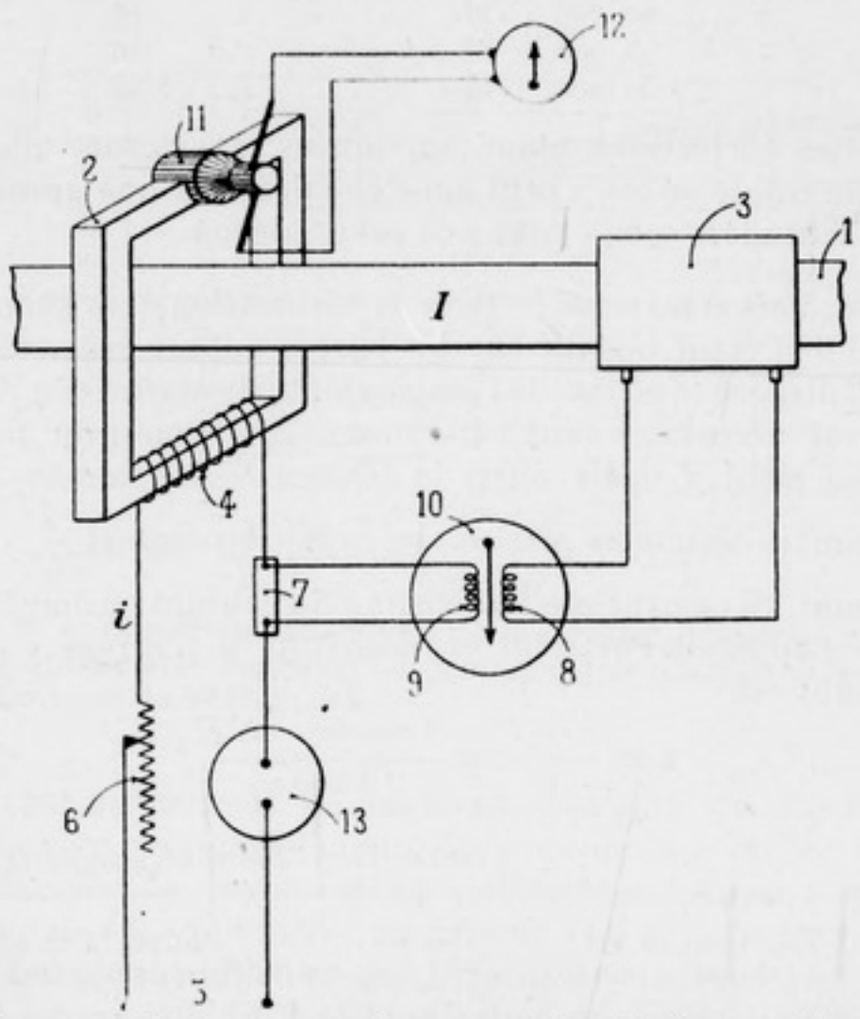


Fig. 7. — Schéma du montage proposé par l'auteur : 1, Barres parcourues par le courant à forte intensité *I*; 2, Noyau magnétique de l'appareil Pestarini; 3, Shunt à étalonner; 4, Enroulement de l'appareil Pestarini; 5, Source de courant continu; 6, Rhéostat de réglage; 7, Shunt étalon à prises multiples; 8 et 9, Enroulements du galvanomètre différentiel; 10, Galvanomètre différentiel; 11, Induit détecteur de flux; 12, Millivoltmètre de zéro; 13, Ampèremètre mesurant le courant secondaire *i*.

erreur du second ordre. Le shunt étalon à placer dans le secondaire de l'appareil Pestarini est prévu multiple de façon que son calibre puisse être changé avec celui du shunt à vérifier; par exemple, pour un shunt de 25 000 A, 0,1 V, le shunt étalon auxiliaire sera de 8,33 A, 0,1 V; pour un shunt de 15 000 A, 0,1 V, il sera de 5 A, 0,1 V, etc.

Il y a lieu de remarquer que par simple décalage du zéro, dans le sens voulu, du galvanomètre différentiel,

on peut tenir compte du courant secondaire i_0 de l'appareil Pestarini correspondant au champ coercitif ($i_0 = 0,13$ A) et que le galvanomètre donne alors directement l'erreur en centièmes du shunt à vérifier.

Les erreurs systématiques et accidentelles possibles avec ce dernier perfectionnement sont réduites au minimum et la vérification des gros shunts est faite avec certitude à $\pm 0,2$ pour 100 près, ce qui constitue un progrès important pour la mesure des fortes intensités de courant.

P. GONNARD,
Ingénieur E. P. C. I., Chef des Services électriques à la Compagnie des Produits chimiques et électrométallurgiques Alais, Froges et Camargue.

La technique des huiles isolantes

La question du traitement et des essais des huiles isolantes a déjà fait l'objet d'un grand nombre d'études et de travaux qui ont conduit à l'élaboration, tant en France qu'à l'étranger, de réglementations relatives aux conditions que doivent remplir ces huiles. Si un certain nombre de points peuvent être considérés comme acquis, il en est d'autres qui sont encore discutés, d'où quelques divergences dans les règlementations des différents pays. L'auteur de l'article qui suit reprend toute cette question des huiles isolantes ; après avir fait ressortir celles des propriétés requises, qui doivent être considérées comme essentielles, il donne un aperçu sur les procédés adoptés pour le contrôle de ces propriétés et sur le traitement à faire subir aux huiles isolantes. Il montre, pour terminer, les résultats obtenus par l'épuration électrocapillaire.

I. **Rôle physique de l'huile.** — Les enroulements des transformateurs modernes sont immergés dans une cuve étanche remplie d'un liquide isolant susceptible de résister aux tensions élevées mises en œuvre et de jouer le rôle de réfrigérant, en dissipant par convection thermique la chaleur provenant du passage du courant dans les bobinages.

Au contact des enroulements, cet isolant s'échauffe, se dilate, diminue de densité, d'où, une circulation qui met en communication les parois les plus froides du bac avec l'huile la plus chaude, ce qui favorise et entretient le refroidissement : un courant ascendant se produit au centre de l'appareil, tandis qu'au voisinage des parois, par suite de l'action refroidissante de celles-ci, le liquide circule de haut en bas.

De nombreux essais ont fait adopter l'huile. Dans un transformateur, l'huile est donc essentiellement un isolant et un véhicule de chaleur. Comme isolant, elle doit avoir une rigidité électrostatique élevée ; au point de vue de la transmission thermique interviennent les principales propriétés : coefficient de viscosité, chaleur spécifique, conductibilité thermique, densité, etc. Mais les propriétés physiques de l'huile ne sont pas les seules à prendre en considération. Comme nous allons le voir, les propriétés chimiques jouent, elles aussi, un rôle tout à fait important.

II. **Altération de l'huile au cours d'exploitation.** — 1. OXYDATION ET POLYMÉRISATION. — On sait qu'en présence d'oxygène, sous l'action d'une élévation de température, l'huile subit toute une série de tranformations chimiques d'oxydation et de polymérisation, s'accompagnant de la formation de dépôts. Les dépôts sont, en majeure partie, constitués par des produits asphaltiques dont quelques-uns sont des acides organiques. L'oxydation et la polymérisation sont particulièrement élevées aux endroits les plus chauds, c'est-à-dire sur les enroulements : c'est donc au contact de ceux-ci que se forment les dépôts solides résultant de l'excès d'élévation de la température ; ils enveloppent les enroulements d'une croûte qui joue le rôle d'écran à l'égard de la chaleur, car ils possèdent une très faible conductivité calorifique, ce qui accélère encore la formation des dépôts. Il arrive ainsi un moment où l'huile ne peut plus circuler et l'élévation considérable de la température qui en résulte entraîne rapidement la mise hors d'usage du transformateur, soit par détérioration des enroulements résultant de leur échauffement, soit par démagnétisation des tôles due à la haute température.

2. ACIDIFICATION. — De plus, les dépôts en se formant donnent naissance à des produits acides qui possèdent une action corrosive à l'égard des enroulements de cuivre ou des tôles. Cette acidification abaisse considérablement la rigidité électrostatique de l'huile et cela, d'autant plus facilement que celle-ci aura été moins bien déshydratée ; elle détruit aussi rapidement les isolants.

On comprend que les dépôts constituent un danger pour le transformateur qui, s'il n'est pas détérioré par son échauffement excessif, est rapidement détruit par perforation ; par suite de la diminution du pouvoir isolant de l'huile et de la désagrégation des isolements, une étincelle éclate entre deux spires, qui met définitivement l'appareil hors d'usage.

Les phénomènes qui se produisent au cours du fonctionnement d'un transformateur sont sans doute beaucoup moins simples. Il faudrait tenir compte, en dehors de l'action de la température et de celle de l'oxygène, d'actions catalytiques dues au cuivre des enroulements et de l'influence certaine du champ électrique.

III. **Qualités que doit posséder une bonne huile.** — Quoi qu'il en soit, en raison de son rôle, l'huile dans

un transformateur doit avant toute chose posséder un pouvoir isolant aussi élevé que possible et une grande résistance à la décomposition chimique sous l'action de la chaleur.

La connaissance du rôle de l'huile a permis, sinon de préciser toutes les propriétés déterminantes de l'isolant que l'on veut utiliser, du moins d'établir une série de spécifications empiriques permettant d'éliminer les huiles que leurs propriétés rendraient impropres au service que l'on attend des huiles de transformateurs.

Comme nous le verrons plus loin, l'huile n'est pas un corps chimiquement défini ; c'est un mélange de constituants divers, différent suivant sa provenance ; aussi, pour reconnaître les qualités d'une bonne huile, est-on obligé de recourir à des essais préalables, effectués dans des conditions bien déterminées.

1. Réglementation relative a la fourniture de l'huile de transformateur. — Dans chaque pays, il a été établi par les groupements intéressés une réglementation précisant la nature et les conditions dans lesquelles devaient être effectués les essais d'épreuve des huiles de transformateurs. La connaissance encore élémentaire de la question, les difficultés que rencontre l'industrie du raffinage qui en est encore à un stade de premier développement font que les différents cahiers des charges, s'ils sont d'accord sur le fond, divergent sur la technique des méthodes préconisées. Sans méconnaître l'utilité de cette réglementation, il convient d'être extrêmement circonspect sur la valeur absolue des essais imposés. La divergence des points de vue permet à juste titre de considérer qu'aucune méthode actuellement pratiquée, tant en France qu'à l'étranger, n'est absolument définitive.

2. Discrimination de la qualité de l'huile. — Mais si l'accord n'a pu se faire sur le mode opératoire, les propriétés qui permettent de juger la qualité d'une huile sont bien connues. Quels que soient les détails techniques et la méthode utilisée, la discrimination de la qualité d'une huile se fait sur les points suivants : 1° rigidité diélectrique ; 2° tendance à former les dépôts ; 3° points d'inflammabilité des vapeurs et de l'huile ; 4° viscosité à différentes températures ; 5° perte de poids par l'évaporation ; 6° densité ; 7° température de décongélation ; 8° teneur en soufre, acide et alcali ; 9° teneur en humidité.

Ces propriétés ne sont pas toutes d'égale importance ; il est, en effet, facile de trouver des huiles dont la viscosité, la densité, les points d'inflammabilité, la perte de poids par évaporation satisfont aux conditions imposées. Par contre, il est extrêmement difficile d'obtenir des huiles parfaitement débarrassées d'eau, parfaitement clarifiées et d'une résistance chimique à l'oxydation très élevée.

IV. **Analyse des propriétés physiques et chimiques.** — Aussi est-il particulièrement important de connaître avec soin les facteurs physiques et chimiques qui correspondent à ces dernières propriétés et nous nous bornerons à indiquer le principe de la mesure en laissant de côté les méthodes relatives aux autres facteurs.

1. Mesure de la rigidité diélectrique. — La rigidité diélectrique se mesure en déterminant la tension, en volts, pour laquelle l'étincelle éclate à travers l'huile entre des sphères de diamètre et à une distance déterminés. Suivant la réglementation en vigueur en France, le diamètre des sphères doit être de 12,5 mm et leur écartement, de 5 mm. La présence de traces d'eau dans une huile suffit pour abaisser notablement la rigidité diélectrique. Lorsque l'on accroît graduellement la tension entre les bornes du spintermètre à l'intérieur duquel l'huile à essayer a été introduite, pour une tension déterminée, une première décharge se produit entre les boules sous forme d'une étincelle ; cette première mesure correspond à la tension d'étincelle ; puis la tension s'étant élevée, la décharge se produit sous forme d'un arc qui s'amorce brusquement, correspondant à la tension d'arc. L'écart qui existe toujours entre les deux tensions est la preuve de la présence dans l'huile d'eau et de particules hygroscopiques qui, en s'orientant dans le champ, favorisent le passage des premières étincelles, tandis que le passage de la décharge sous forme d'arc correspond au percement du diélectrique par le champ électrique.

En effet, si on soumet, pendant un certain temps, l'huile à un champ électrique inférieur à la tension d'étincelle, celle-ci s'élève, et souvent d'une manière notable, sous l'action du champ ; les particules hygroscopiques et les sphérules d'eau chargées d'électricité sont attirées et fixées par les électrodes : un nettoyage de l'huile s'est effectué.

Il existe fort peu d'huiles commerciales dont la tension d'étincelle et la tension d'arc soient confondues, ce qui provient du fait que l'épuration absolue d'une huile est une opération sinon impossible, du moins extrêmement délicate. Au contraire, *le fait que la tension d'étincelle et la tension d'arc sont confondues est la preuve indiscutable de la qualité exceptionnelle de l'huile*. Pratiquement, il est logique pour une huile courante de tenir compte plutôt de la tension d'étincelle que de la tension d'arc, la première indiquant la tension réelle que pourra pratiquement supporter l'huile dans le transformateur.

En résumé, l'essai de rigidité diélectrique constitue un critérium de la valeur réelle d'une huile examinée au point de vue de son pouvoir isolant ; quel que soit le mode opératoire préconisé, il donne lieu à une mesure physique facilement reproductible.

2. La résistance chimique. — La résistance chimique se mesure par la tendance à former les dépôts, qui est évidemment une détermination pratique de toute première importance.

Logiquement, pour faire cet essai, il faudrait placer l'huile dans des conditions aussi voisines que celles

dans lesquelles elle est utilisée. Un essai rapide ne possède pas toutes les garanties scientifiques désirables, les transformations subies par l'huile étant fonction de la température et du temps. Mais un essai de longue durée est un inconvénient quant à l'organisation des services de contrôle, et surtout, il entraîne l'accumulation de stocks importants, qui constituent une immobilisation onéreuse. Au surplus, même un essai de longue durée ne réaliserait pas toutes les conditions de travail normal. Aussi a-t-on adopté des essais de faible durée, dont la valeur de contrôle est basée sur les propositions suivantes qui se dégagent des études générales effectuées sur les huiles de transformateur :

1° une huile présentant la plus grande résistance à l'oxydation aura la plus longue durée de service;

2° l'oxydation est d'autant plus rapide et marquée que la température est plus élevée.

Le principe des méthodes servant à déterminer la tendance à former les dépôts consiste à chauffer l'huile dans certaines conditions de température et de durée et à doser la quantité de dépôt formée. La réglementation française impose à l'échantillon une épreuve de cuisson à 150°C. Après 5 heures, 50 heures, 135 heures, on détermine la quantité de dépôt soluble dans le tétrachlorure de carbone. Le cahier des charges exige que le taux soit nul après 5 heures, inférieur à 0,06 pour 100 pour 50 heures de cuisson, inférieur à 0,3 pour 100 pour 135 heures. Naturellement, l'action de la température de 150°C n'est pas comparable à celle plus modérée du transformateur pendant des années; mais il a fallu, pour obtenir des dépôts susceptibles d'être dosés avec une certaine précision dans un temps court, compenser le facteur temps par la température. Mais il a été reconnu depuis que la vraie température de décomposition de l'huile était comprise entre 115 et 120°C. Aussi, devrait-on utiliser cette température.

Les réglementations étrangères possèdent d'autres spécifications; certains cahiers des charges exigent l'emploi d'un catalyseur comme le cuivre ou la présence d'un courant d'air ou d'oxygène. Aussi n'est-il pas étonnant qu'une série d'échantillons, examinés suivant les différents cahiers des charges, donnent lieu à des classifications différentes, les phénomènes d'oxydation dans des conditions différentes ne pouvant être comparés. En particulier, est-il nécessaire de tenir compte du rapport de la surface de l'huile chauffée à son volume, comme le montrent un très grand nombre de recherches ?

Toutes les méthodes proposées sont critiquables; mais on peut dire qu'une même méthode donne des résultats comparatifs sous réserve naturellement que toutes les conditions expérimentales soient rigoureusement identiques pour tous les échantillons examinés.

Il serait possible d'évaluer le degré de la résistance chimique des huiles à partir de leur composition déterminée par leur spectre d'absorption à l'ultraviolet. Mais l'étude de cette question n'est pas encore poussée assez loin pour qu'on puisse espérer en tirer prochainement une méthode de contrôle.

3. Conclusion. — En résumé on peut donc considérer que les déterminations essentielles pour la connaissance de la qualité des huiles de transformateur sont la rigidité diélectrique et la tendance à la formation des dépôts. En d'autres termes, les propriétés d'une huile peuvent être représentées par des facteurs numériques accessibles à la mesure.

Naturellement, comme on l'a vu plus haut, la connaissance des autres propriétés déterminantes n'est pas négligeable.

V. Origine et traitement des huiles isolantes.

1. Le pétrole brut. — L'huile de transformateur est extraite du pétrole brut. Ce liquide est constitué par des mélanges en proportions variées de plusieurs hydrocarbures, dont certains, les hydrocarbures saturés, possèdent une grande stabilité chimique et une grande résistance aux réactifs, tandis que les autres, les hydrocarbures non saturés, sont extrêmement fragiles et sensibles aux agents extérieurs. Le pétrole brut est un mélange; il n'a jamais la même composition et il existe des différences profondes suivant l'origine. Par exemple, les pétroles de Pensylvanie sont surtout riches en hydrocarbures saturés et stables et en paraffine, tandis que les pétroles de Californie et du Mexique contiennent surtout des composés non saturés et sont riches en soufre.

2. La distillation; les fractionnements. — Le pétrole est soumis à la distillation; les différents fractionnements ont des propriétés différentes et sont utilisés à des usages très divers; on sépare par ce procédé toute une série de produits : l'éther de pétrole utilisé comme solvant, l'essence de pétrole qui sert de carburant, le pétrole lampant, les huiles à gaz, les huiles lubrifiantes qui possèdent toute la gamme de viscosité, les huiles à paraffine et à vaseline, les goudrons ou brai, utilisés comme agglomérant, enfin le coke, résidu solide.

Les huiles de transformateurs sont généralement choisies dans le fractionnement léger de l'huile de graissage ou parmi les huiles à gaz. Naturellement, le distillat recueilli dans un fractionnement même très serré ne peut être, en aucune manière, considéré comme un produit défini; sa constitution et, par suite, ses propriétés dépendent, non seulement du traitement, mais encore de l'origine des huiles qui constitue ainsi un facteur de toute première importance. Or, les huiles contiennent, soit en suspension à l'état colloïdal, soit à l'état de solution, certains constituants appelés goudrons qui sont précisément ceux dont l'instabilité entraîne sous l'action combinée de la chaleur et de l'oxygène la formation des dépôts si dangereux comme on l'a vu, pour la vie du transformateur. Le produit de la distillation n'est donc pas utilisable tel quel; il faut le débarrasser d'un excès de goudrons, qui, par oxydation, donneraient une quantité de matières asphaltiques supérieure à celle compatible avec la sécurité exigée. Au surplus, certains distillats possèdent une teneur en soufre qui les rend inutilisables.

Le soufreen excès dans l'huile est un composé extrêmement dangereux. Il est susceptible, en présence d'humidité et d'oxygène et sous l'action de la chaleur, de donner lieu à la formation d'acide sulfurique. Ce corps exerce une double action destructive sur les organes du transformateur qu'il attaque et sur l'huile à laquelle il fait perdre son pouvoir isolant et qu'il décompose.

Pour toutes ces raisons, le produit de la distillation doit être soumis à un traitement qui a essentiellement pour objet d'éliminer les éléments indésirables, les goudrons. Toutes ces substances sont avec l'eau fort nuisibles pour les transformateurs.

3. Le raffinage. — Cette opération consiste à traiter l'huile par l'acide sulfurique; ce réactif précipite les goudrons. Par décantation, on recueille l'huile ainsi débarrassée; mais celle-ci étant acide, il faut la neutraliser. En principe, le raffinage est une opération très simple; malheureusement, en pratique, elle est extrêmement délicate. D'abord, la séparation des différentes suspensions obtenues au cours des opérations ne s'effectue pas toujours facilement. Enfin, l'addition de l'acide exige de grandes précautions, sans quoi, non seulement le réactif détruit les hydrocarbures instables; mais encore il amorce la destruction des hydrocarbures stables. Si bien qu'une huile ayant subi une acidification trop brutale est moins stable après qu'avant le traitement. Il ne faut pas oublier que l'huile est, en effet, un mélange de corps, que la composition du mélange et la constitution des corps sont très mal connues, ainsi que les diverses réactions que peuvent présenter les composés les uns vis-à-vis des autres au cours de l'acidification. Les résultats du raffinage sont en fait impossibles à prévoir; aussi doit-il être pratiqué avec prudence suivant une action ménagée. C'est ainsi que l'on constate que des huiles très blanches que l'on n'a pu obtenir qu'en faisant agir une quantité très élevée d'acide possèdent une résistance chimique beaucoup plus faible que des huiles légèrement colorées qui sont cependant de moins belle apparence. C'est donc une erreur de préférer les premières. Actuellement, on abandonne le raffinage brutal; on réalise l'opération en plusieurs temps. Souvent même on se contente d'une acidification relativement faible, et on complète le traitement par une filtration sur terre décolorante qui, par adsorption, entraîne les molécules les plus lourdes et les moins stables, précisément celles dont on veut se débarrasser.

Dans certains cas, ces terres décolorantes sont préalablement rendues acides par un traitement spécial et à l'adsorption se superpose une acidification ménagée grâce aux liaisons qui existent entre la terre et l'acide fixé. L'huile, après cette opération, est séparée de la terre adsorbante par une simple filtration ou par centrifugation.

L'huile ainsi raffinée possède des propriétés physiques et chimiques satisfaisantes, mais elle ne peut être utilisée sous cette forme. Elle possède bien une tendance à former les dépôts, une viscosité, une densité, un point d'inflammabilité convenables, mais elle est souillée par de l'eau et des particules hygroscopiques, fibres, poussières, fins agrégats de terre adsorbante, suspension colloïdale de produits asphaltiques, qui ont échappé à la filtration. Elle ne possède pas un pouvoir isolant suffisant. Il faut de toute nécessité la débarrasser à la fois de l'eau et des particules. La présence simultanée de ces deux sortes d'impuretés exerce en effet une influence considérable sur le pouvoir isolant.

Il est, du reste, intéressant de remarquer que les propriétés isolantes de l'huile sont relativement peu influencées par une seule de ces catégories. Par exemple, une addition de 0,025 pour 100 d'eau à une huile de tension disruptive égale à 70 000 volts abaisse celle-ci à 48 000 volts; une addition de 1 pour 100 de fibres l'amène à 54 000 volts, tandis que si l'huile est additionnée simultanément par la même proportion de ces deux sortes d'impuretés, la tension disruptive est considérablement affectée : elle n'est plus que de 5 000 volts.

4. Déshydratation de l'huile. — L'huile destinée à remplir la cuve d'un transformateur doit être exempte d'eau d'une manière absolue. Tous les organes du transformateur doivent être du reste desséchés d'une manière parfaite. La déshydratation est d'autant plus délicate que l'affinité de l'huile pour l'eau est considérable. Tous les procédés actuellement employés pour arriver à ce résultat ne donnent que des résultats imparfaits et souvent même font perdre à l'huile une partie de ses propriétés essentielles, telle que la résistance à l'oxydation.

1° *Le chauffage.* — Le chauffage soit direct, au moyen de résistance chauffante, soit par insufflation d'air ou d'un autre gaz chauffé, présente l'inconvénient de donner lieu, malgré toutes les précautions prises, à des surchauffes locales dues à la mauvaise conductibilité calorifique de l'huile. Ces surchauffes provoquent des décompositions plus ou moins profondes qui diminuent la stabilité de l'huile déshydratée. Au reste, ainsi qu'on peut s'en rendre compte facilement, l'huile traitée par ce procédé de chauffage possède une coloration plus foncée qu'avant l'opération, ce qui est la marque des réactions d'oxydation et de polymérisation qui se sont amorcées et qui sont le premier stade de la formation des dépôts.

2° *L'étuvage dans le vide.* — Pour éviter ces graves dangers, on a plus récemment préconisé l'étuvage dans le vide. Cette méthode longue et délicate exige un matériel très onéreux. Les surchauffes sont supprimées; mais on a malgré tout constaté à l'examen microscopique, dans les huiles ainsi traitées, la présence, souvent en grandes quantités, de celloïdes asphaltiques, formés par condensation au cours de l'étuvage. Cette opération, même à basse température et dans le vide, diminue le degré de résistance à l'oxydation de l'huile.

3° *La filtration.* — La filtration sur papier buvard a été aussi utilisée pour débarrasser une huile de l'eau qu'elle pouvait contenir. Cette opération est très coû-

teuse quand on veut obtenir des résultats satisfaisants. En effet, en raison de sa grande tension superficielle par rapport à celle de l'huile, l'eau finit rapidement par déplacer l'huile de la membrane filtrante. A partir de ce moment, la déshydratation ne s'effectue plus et le papier doit être changé. Le procédé est lent, très onéreux et présente, en outre, l'inconvénient d'abandonner dans l'huile des fibres ténues provenant de la cellulose de la masse filtrante. Ces éléments réduisent particulièrement la rigidité diélectrique et la résistance de l'huile à l'usure, car ils sont très hygroscopiques.

4° *La centrifugation*. — La centrifugation directe de l'huile est impuissante à déshydrater celle-ci. Les sphérules d'eau qu'elle contient sont trop petites pour être sensibles d'une manière appréciable au champ centrifuge le plus puissant que l'industrie sache réaliser.

Pour obtenir un résultat efficace, il faut ajouter à la centrifugation l'emploi d'un réactif ou d'un adsorbant qui entraîne l'eau et se trouve lui-même sensible à la force centrifuge en raison des dimensions des grains sous lesquelles on l'utilise. La silice, les terres décolorantes servent souvent à cet usage. Ce procédé présente l'inconvénient de laisser dans l'huile traitée de fines particules de l'adsorbant, qui jouent le rôle de particules hygroscopiques et altèrent profondément par leur seule présence les propriétés isolantes de l'huile.

5. Clarification de l'huile. — La séparation des poussières, fibres, particules de carbone ou de matières asphaltiques, en un mot de tous les éléments solides qu'une huile de transformateur peut contenir est une opération tout à fait délicate; on sait actuellement qu'aucun des moyens usuels ne donne de résultat satisfaisant; ni la filtration ordinaire, ni la centrifugation ne permettent de débarrasser complètement l'huile des fines particules qu'elle contient.

6. Epuration électrocapillaire. — Ainsi qu'on vient de le voir, aucun des moyens ordinaires utilisés jusqu'à ce jour dans l'industrie ne donne de résultat satisfaisant, ni pour la déshydratation, ni pour la clarification. Il est extrêmement rare qu'une huile commerciale soit parfaitement débarrassée de ses impuretés, ainsi qu'en témoigne l'écart souvent très élevé entre la tension d'étincelle et la tension d'arc.

Le problème de la filtration parfaite est actuellement résolu par l'utilisation des phénomènes électrocapillaires. En choisissant une membrane filtrante (1) d'une matière convenable et en traitant celle-ci par des réactifs appropriés, on peut utiliser les propriétés électrocapillaires de la masse filtrante pour obtenir la séparation absolue des plus fines impuretés solides ou liquides contenues dans l'huile.

Le principe de la séparation est alors particulièrement différent de celui sur lequel est basé le filtre ordinaire. Grâce au traitement l'entrée du diaphragme filtrant est revêtue de charges électriques appropriées. Si le liquide est sollicité à filtrer et si la paroi est revêtue de charges statiques de même signe que les particules, celles-ci seront soumises à des actions répulsives et le liquide passera clarifié. Au surplus, on comprend que le colmatage puisse dans de telles conditions être extrêmement réduit. On pourra, en outre, contrairement à ce qui se produit dans la filtration ordinaire, employer des canaux filtrants beaucoup plus gros que les impuretés et dans ces conditions obtenir sans forte pression des débits élevés.

La rigidité diélectrique est augmentée dans des proportions considérables et la tension d'étincelle et la tension d'arc sont confondues, ce qui constitue, comme nous l'avons vu, un critérium absolu du degré d'épuration de l'huile. Ce résultat est d'autant plus remarquable qu'il est obtenu non seulement avec des huiles sortant des bacs de raffinage, mais encore avec des huiles commerciales déjà déshydratées et épurées par les moyens classiques, c'est-à-dire au maximum des possibilités courantes.

Le tableau I donne un ensemble de résultats obtenus

Tableau I. — *Résultats d'essais obtenus avec divers échantillons d'huiles avant et après leur épuration par des procédés électrcoapillaires.*

Échantillons		Tension des premières étincelles kv	Tension d'arc dans l'huile kv	Tension d'arc extérieur au spintermètre kv
1.	Avant	55-38-30	80-74-88	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	84-92-85
1 bis.	Avant	67-73-37	79-74-70	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	92-90-90
2.	Avant	54-62-34	74-74-82	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	84-88-88
2 bis.	Avant	50-58	70-70	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	88
3.	Avant	22-43	70-78-70	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	94-82-94
4.	Avant	58-13-26	72-71-75	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	86-85-90
4 bis.	Avant	17-22-50	82-78-62	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	84-86-89
5.	Avant	57	75-80	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	90-92
6.	Avant	28-38	64-70-58	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	90-90-86
6 bis.	Avant	54-52-52	78-54-74	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	93-94-94
6 ter.	Avant	46-55-60	80-76-84	
	Après	aucune étincelle	aucun arc	99-98-100

(1) Voir la description complète du procédé dans la *Revue pétrolifère*, 13 octobre 1928, n° 290.

avec une série d'huiles commerciales de provenances différentes. Ce traitement des huiles permet non seulement d'obtenir des isolants d'une rigidité diélectrique très élevée, mais encore, il abaisse dans une proportion de 30 à 50 pour 100 la tendance à la formation des dépôts. Les huiles que l'on obtient ainsi possèdent une garantie d'utilisation très supérieure aux huiles ordinaires. Leur rigidité diélectrique et leur résistance à l'oxydation en font des isolants d'une longévité portée à son maximum.

René Audurert,
Professeur à l'Institut de Chimie de Paris.

Revues, analyses et informations

Compensateurs de phase du type Scherbius (1).

1. Introduction. — Réduit à sa plus simple expression, le schéma d'un compensateur de phase du type Scherbius comprend un induit bipolaire à courant continu, à enroulement en tambour, associé à un collecteur sur lequel appuient trois balais fixes décalés entre eux de 120°. Ces derniers sont alimentés dans l'ordre correct de la séquence des phases par un réseau triphasé de fréquence f. On a encore simplifié cette conception en confondant le noyau de cet induit avec le noyau du rotor; dans ce cas, l'espace compris entre l'arbre et les canaux ordinaires de ventilation est percé de trous dans lesquels on loge l'enroulement du compensateur qui, sous cette forme, constitue la machine dénommée « moteur à puissance active totale ».

Dans le présent article, l'auteur se propose de donner la théorie de ce nouveau type de compensateur et de comparer les résultats déduits du calcul à ceux obtenus dans des essais au frein sur une machine mise à la disposition de la Birmingham University.

2. Théorie du nouveau compensateur de phase Scherbius. — Soit X_3 la réactance du compensateur par phase à la fréquence du courant d'alimentation du moteur.

La vitesse de rotation du champ du compensateur dans l'espace dépend de son nombre de paires de pôles et de la fréquence du courant qu'il reçoit, soit, en tours par seconde, $\frac{s}{p_a}$, s étant la vitesse de glissement du moteur et p_a, le nombre de paires de pôles du compensateur.

La vitesse de rotation des conducteurs du compensateur dans l'espace est solidaire de la vitesse du moteur et égale, en tours par seconde, à $\frac{f-s}{p_m}$, f étant la fréquence du réseau et p_m, le nombre de paires de pôles du moteur.

Si $\frac{f-s}{p_m} < \frac{s}{p_a}$, le compensateur présente de l'inductance;

si $\frac{f-s}{p_m} > \frac{s}{p_a}$, le compensateur présente de la capacité.

La fréquence de la force électromotrice induite dans le compensateur est

$$p_a\left[\frac{s}{p_a} - \frac{f-s}{p_m}\right].$$

On a donc maintenant pour la réactance par phase du compensateur à la fréquence du glissement

$$X_3 \frac{p_a}{f}\left[\frac{s}{p_a} - \frac{f-s}{p_m}\right].$$

Pour simplifier, on pose

$$p = \frac{p_a}{p_m} \quad \text{et} \quad n = f - s,$$

ce qui donne

$$X_3 \frac{s - pn}{f}.$$

Si l'on désigne encore par R_3 la résistance par phase du compensateur; par E_2, R_2, X_2, respectivement la force électromotrice, la résistance et la réactance du rotor supposé au repos et connecté en triangle et par I_2, le courant qui circule entre les bagues du rotor et les balais du compensateur, on peut écrire

$$\frac{E_2 s}{f} = \frac{I_2}{\sqrt{3}}\left[(R_2 + R_3) + j\left\{\frac{X_2 s}{f} + \frac{X_3 (s - pn)}{f}\right\}\right]. \quad (1)$$

D'autre part, E_1, R_1 et X_1 étant la tension appliquée, la résistance et la réactance du stator; k, le rapport d'enroulement du stator et du rotor et I_s, le courant du stator équivalent au courant du rotor, on a

$$E_1 = \frac{I_s}{\sqrt{3}}\left[R_1 + \frac{k^2 f}{s}(R_2 + R_3) + j\left\{X_1 + k^2(X_2 + X_3 - X_3\frac{pn}{s}\right\}\right] \quad (2)$$

Le second membre est constant et nous apprend que, si de l'expression $X_1 + k^2 (X_2 + X_3)$ on retranche $k^2 X_3 \frac{pn}{s}$, le reste représente une grandeur vectorielle perpendiculaire à

$$R_1 + \frac{k^2 f}{s}(R_2 + R_3)$$

et la somme vectorielle de ces deux grandeurs est constante.

Sur $OB = E_1$, en volts, comme diamètre (fig. 1), on décrit une demi-circonférence sur laquelle on prend un point quelconque A; on mène OA et AB tels que

$$AB = \frac{I_s}{\sqrt{3}}\left[R_1 + \frac{k^2 f}{s}(R_2 + R_3)\right],$$

$$OA = \frac{I_s}{\sqrt{3}}\left\{X_1 + k^2\left(X_2 + X_3 - X_3\frac{pn}{s}\right)\right\}$$

(1) W. Cramp. *Journal of the Institution of electrical Engineers*, juin 1929, t. LXVII, p. 756-761, 1 200 mots, 7 fig.

On prolonge OA jusqu'en C de façon que

$$AC = \frac{I_s k^2 pn X_3}{\sqrt{3}\, s};$$

alors

$$OC = \frac{I_s [X_1 + k^2 (X_2 + X_3)]}{\sqrt{3}}.$$

Remarquant que R_1 est petit et qu'au voisinage du synchronisme on a à peu près $n = f$, il s'ensuit que le rapport $\frac{AC}{AB}$ est sensiblement constant, ainsi que l'angle ACB; le point C se déplace donc sur une circonférence marquée en trait ponctué sur la figure et OC représente I_s.

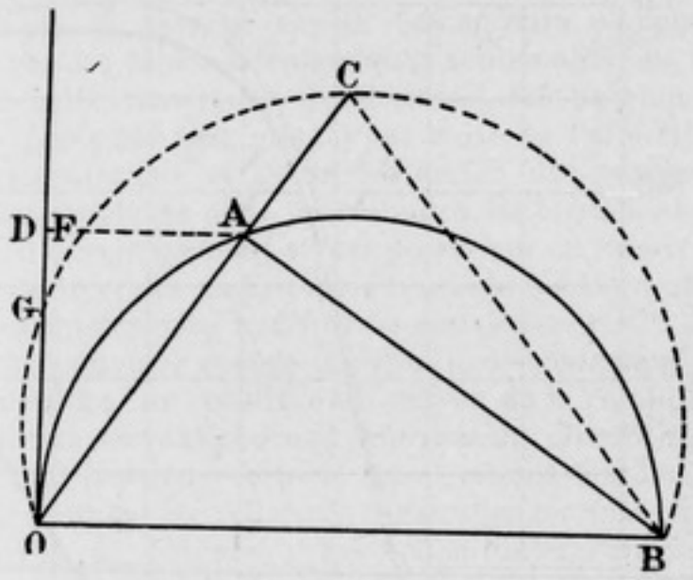


Fig. 1. — Construction approchée du diagramme circulaire du compensateur.

On peut dire que, si le courant fourni au moteur est OD, le courant rotorique en l'absence du compensateur sera proportionnel à OA, tandis qu'en réalité avec le compensateur il est égal à OF. Pour avoir le courant statorique total I_1, il faut ajouter à I_s la composante à vide $E_1 (G - j K)$, où G et K représentent la conductance et la susceptance du stator à vide.

Par conséquent, il y a six grandeurs à déterminer : k, $R_1 + k^2 (R_2 + R_3)$, $X_1 + k^2 X_2$, $k^2 X_3$, G et K et il faut y arriver en tenant compte du mode de connexion, étoile ou triangle. Il est d'usage, dans le cas du moteur d'induction, de considérer ces six grandeurs comme des constantes que l'on détermine par des essais en circuit ouvert, en court-circuit et à vide. On a cherché à étendre ce procédé à la machine actuelle, mais entre les résultats calculés et les résultats observés, il y a une différence si considérable que l'auteur en conclut ou que sa théorie est mauvaise ou qu'il a omis un facteur important en l'appliquant.

Caractéristiques du moteur. — Il est prévu pour fournir une puissance de 20 ch à la vitesse de 925 t : mn, à la tension de 440 v et à la fréquence de 50 p : s, en sorte que le stator et le rotor sont bobinés pour 6 pôles, tandis que le compensateur a un enroulement imbriqué à 4 pôles. Les 3 balais des bagues du rotor ont été par conséquent reliés à 6 balais du collecteur dont les paires opposées sont couplées en parallèle. L'enroulement du stator est en triangle ; celui du rotor, en étoile; mais, dans toute cette étude, les résistances et les réactances sont ramenées à leur valeur équivalente à la connexion en triangle.

3. Explication du désaccord entre les résultats calculés et les résultats observés. — Une première cause évidente de divergence provient du fait que, dans le circuit du rotor, existent deux systèmes de contacts de balais, celui des bagues et celui du collecteur. On a donc procédé à des mesures, en courant continu, de la résistance du rotor et de celle du compensateur avec et sans leurs balais. Les résultats des premières mesures, c'est-à-dire les balais inclus, sont reproduits en figure 2, où la courbe 1 se rapporte au rotor; la courbe 2, au compensateur. On peut

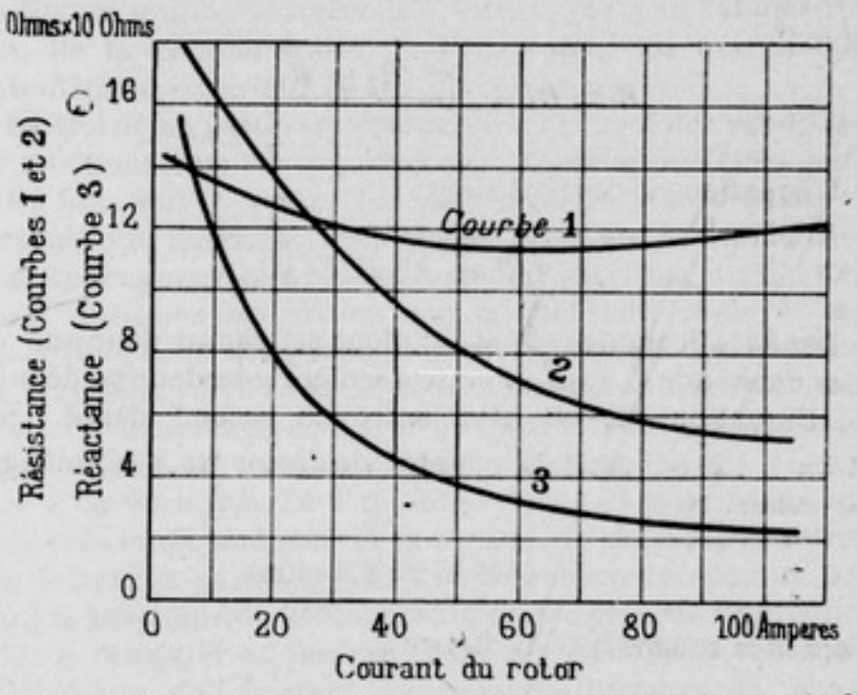


Fig. 2. — Valeurs calculées des résistances du rotor et du compensateur (courbes 1 et 2) et de la réactance du compensateur (courbe 3).

adopter une valeur moyenne pour le rotor avec ses balais; la moyenne de 10 ordonnées de la courbe 1 a donné 1,25 ohm par phase pour le couplage en triangle équivalent.

Il est inutile de chercher une telle moyenne pour la résistance du compensateur, car ici cette moyenne ne dépend pas seulement du courant qui traverse la machine, mais encore de l'état de mouvement ou de repos de cette dernière. Il n'est donc pas étonnant qu'avec de si grandes variations les valeurs calculées et mesurées du glissement présentent des écarts si considérables (valeurs calculées, en centièmes, 2,5 et 9; valeurs mesurées 3,7 et 7, pour des courants de 10 et 60 A).

L'auteur en conclut que la résistance R_3 du compensateur doit, pour le moins, être considérée comme une grandeur variable qui échappe même au contrôle de constructeur.

Il existe encore une autre cause de désaccord. Le rotor et le compensateur étant jonctionnés, on peut, d'une part, relever plusieurs intensités du courant I_2 qui circule du rotor au compensateur et, d'autre part, mesurer les tensions correspondantes entre les balais du compensateur. De ces lectures, on déduit, par le calcul, la valeur de l'impédance du compensateur pour chaque courant et ensuite, à l'aide des courbes 1 et 2 de la figure 2, on détermine la réactance $k^2 X_3$. Les résultats en sont représentés par la courbe 3 de la figure 2 qui montre bien entre quelles larges limites cette réactance peut varier ; mais, ici, cette variation est sous le contrôle du constructeur. Les essais en court-circuit ont donné pour $k^2 X_3$ la valeur 2,1 ohms tandis que, d'après la courbe, cette grandeur varie de 14,8 ohms pour 4,5 A à 2,1 ohms pour 106 A. Entre ces mêmes limites de courant, $k^2 R_3$ varie de 1,77 à 0,516 ohm.

Il est donc inutile de considérer R_3 et X_3 comme des constantes dans un moteur doublé d'un compensateur. La théorie proposée est néanmoins valable pourvu qu'il soit

possible de déterminer R_2 et X_3 comme fonctions du courant du rotor. L'auteur indique comment il faut procéder.

On pose

$$X = X_1 + k^2\left(X_2 + X_3\frac{s - pn}{s}\right);$$

comme $n = f - s$, on a

$$X = X_1 + k^2X_2 + (1 + p)\,k^2X_3 - \frac{pf}{s}\,k^2X_3 \qquad (3)$$

et

$$R = R_1 + \frac{fk^2\,(R_2 + R_3)}{s}. \qquad (4)$$

L'équation (2) devient alors

$$I_s\sqrt{R^2 + X^2} = E_1\sqrt{3}. \qquad (5)$$

Dans les formules (3) et (4), tout est connu pour une valeur donnée de I_s sauf s; cette dernière grandeur se déduira de l'équation (5) où elle entre au second degré. Soit $I_s = 2\sqrt{3}$ ou pour le courant du rotor 10,8 A; d'après les essais, on a

$$X_1 + k^2X_2 = 8{,}6 \text{ ohms}$$

d'après la courbe 3 de la figure 2,

$k^2X_3 = 11{,}8$ ohms; $p = \frac{2}{3}$; $f = 50$ p:s; $R_1 = 0{,}92$ ohm,

et des courbes 1 et 2 de la figure 2, on tire $k^2\,(R_2 + R_3) = 2{,}9$ ohms. En portant ces valeurs dans (3) et (4), il vient

$$X = 28{,}3 - \frac{393}{s},$$

$$R = 0{,}92 + \frac{147}{s}.$$

Comme $E_1 = 440$ v, il vient

$$R^2 + X^2 = \frac{3\,E_1^2}{I_s^2} = \frac{3 \times 440^2}{4 \times 3} = 48\,400.$$

Tous calculs faits, l'équation du second degré en s est la suivante

$$s^2 + 0{,}46\,s - 3{,}68 = 0.$$

La seule racine qui convient est la racine positive, $s = 1{,}7$, ou 3,4 pour 100, au lieu de 3,5 pour 100 mesurés pour un courant du rotor de 10 A, tandis que la valeur calculée en négligeant les variations de R_2, R_3 et X_3 n'était que 2,5 pour 100.

Ainsi donc ces variations rendent compte de la majeure partie du désaccord et la prédétermination par le calcul est toujours possible bien que ce soit un procédé qui exige beaucoup de travail. D'autre part, il est manifestement inutile de rien entreprendre sans ces corrections. Pour prouver que l'on arrive à une concordance très satisfaisante entre les résultats de la théorie et de la pratique, l'auteur renvoie aux courbes de la figure 3 qui se réfèrent, respectivement, au facteur de puissance et à la puissance du moteur. D'autres courbes, non reproduites ici, font ressortir les améliorations appréciables apportées au facteur de puissance par l'adjonction du compensateur, tandis que le glissement est augmenté et que le rendement reste presque sans changement, ce qui signifie que les pertes dues à la présence du compensateur sont équilibrées par suite de l'excitation à basse fréquence et de la diminution du courant dans le stator; au contraire, le facteur de puissance augmente très vite; à demi-charge, le compensateur l'a fait passer de 0,62 à 0,92; à trois quarts de charge, il atteint 0,96 et se maintient à ce chiffre jusqu'à une surcharge de 25 pour 100.

Tous ces résultats remarquables sont obteuus par une proportion judicieuse du fer du rotor, et, en fait, par la simple variation de X_3 déjà signalée en figure 2. La saturation du circuit du compensateur provoque une avance de

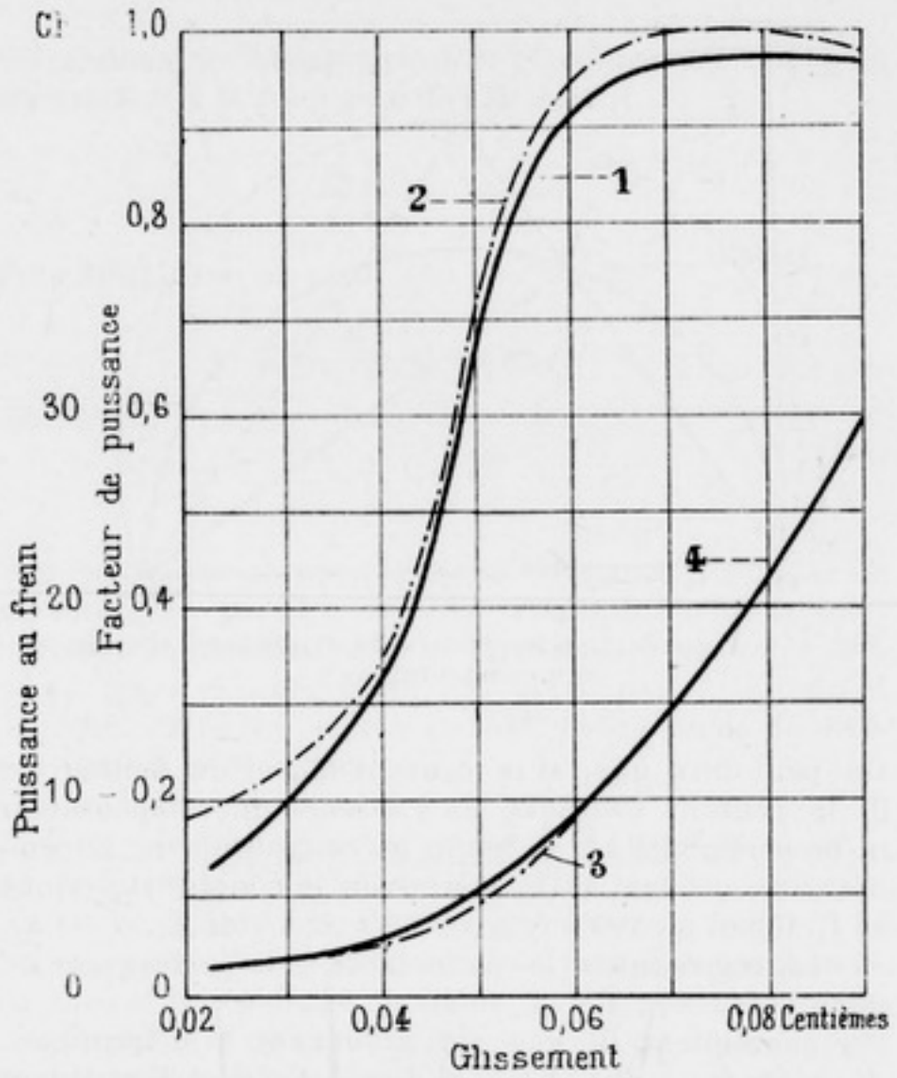


Fig. 3. — Comparaison entre les valeurs calculées et mesurées : du facteur de puissance, courbe 1, résultats de mesures; courbe 2, résultats du calcul et de la puissance; courbe 3, résultats du calcul; courbe 4, résultats de mesures.

phase considérable aux faibles charges où c'est nécessaire sans donner lieu cependant à des courants en avance trop intenses aux fortes charges. A ce point de vue, la machine est presque idéale.

L'augmentation du glissement due au compensateur est une caractéristique de toutes les machines du type Leblanc, et Scherbius; à pleine charge, le glissement est presque doublé, mais ce n'est pas un inconvénient sérieux. D'autre part, le courant du stator diminue à mesure que la charge augmente et tombe à 10,4 A pour 4 ch, après quoi il se remet à croître; le couple, par ampère, subit une amélioration correspondante, mais le couple maximum ou de décrochage est considérablement accru; pour une tension de 300 v aux bornes du stator, il était de 65 pound-feet (1) sans le compensateur, tandis qu'avec ce dernier il a atteint 100 pound-feet et, à 440 v, on peut prévoir approximativement un accroissement de 50 pour 100, ce qui est un avantage appréciable

(1) 1 pound-foot = 0,138 kilogrammètre.

dont on oublie souvent de tenir compte quand il s'agit de compensation de phase.

La construction approchée du diagramme circulaire, qui a été exposée au début doit également être modifiée; mais, comme la détermination de la circonférence dépend de X_3 et de R_3 qui ne doivent plus être considérés comme des grandeurs fixes, il faudrait tracer une circonférence pour chaque couple de valeurs de X_3 et R_3. L'auteur indique comment il conviendrait de procéder et illustre ses explications en traitant trois cas concrets. — B. C.

Les câbles téléphoniques à longue distance (1).

Un premier article sur ce sujet a déjà fait ici l'objet d'un résumé dans la « Revue générale de l'Electricité » du 26 octobre 1929, t. XXVI, p. 147 D. Les auteurs y exposent les avantages des câbles téléphoniques souterrains, au point de vue sécurité matérielle des liaisons, les problèmes techniques posés par leur emploi par suite de l'affaiblissement des transmissions et de la distorsion des paroles et les procédés employés pour les résoudre. Ils terminent en indiquant le développement actuel du réseau de câbles téléphoniques souterrains en Europe, renseignements qui sont d'ailleurs complétés dans le début du deuxième article.

Pour augmenter encore la capacité d'écoulement de trafic de ces câbles, on constitue au moyen de la combinaison de deux paires servant chacune à former un circuit de conversation un troisième circuit ou « circuit fantôme ». Ces circuits peuvent être chargés, comme les circuits physiques, au moyen de bobines munies d'enroulements connectés comme l'a montré le docteur Ebeling. Cette utilisation de deux paires pour constituer trois circuits de conversation introduit la nécessité d'équilibrer les inductances et les capacités pour éviter les phénomènes de diaphonie. L'équilibrage des premières est obtenu assez facilement et suffisamment bien par un choix convenable des pas de torsadage des fils constituant chaque paire et des deux paires ensemble. L'équilibrage des capacités est plus délicat. Il faut tenir compte des capacités entre les fils pris deux à deux et de celles entre ces fils et l'enveloppe de plomb du câble.

Ils expliquent les relations qui doivent être observées entre ces capacités pour éviter la diaphonie. Pratiquement l'équilibrage peut être obtenu suivant deux méthodes différentes. Dans l'une, employée par la maison Siemens et Halske, il est obtenu au moyen de condensateurs de 20 µF placés au milieu environ des sections de charge. Dans l'autre méthode, employée aux Etats-Unis et en Angleterre, l'équilibrage est obtenu par des croisements entre les paires de câble d'une section à l'autre, dans les boîtes de jonction, faits à la suite de mesures et de façon que le déséquilibre dans une section soit neutralisé par celui de la section suivante.

Il faut aussi pour ces câbles souterrains se prémunir contre la possibilité de potentiels induits par des lignes de transmission d'énergie voisines. Il faut pour cela rendre égales les capacités par rapport à la terre de chaque circuit combinant et du circuit fantôme combiné. Cet équilibrage risquerait d'être détruit par celui nécessaire pour éviter la diaphonie et vice versa, suivant celui des deux qui serait réalisé le premier. On tourne la difficulté en rendant égales les capacités partielles au lieu des capacités complexes. Il est également important, au point de vue de l'action possible des circuits extérieurs, de réduire dans certaines limites les inégalités de résistance et d'inductance des deux circuits combinants. Cet exposé par un diagramme des forces électromotrices et des courants induits dans l'enveloppe de plomb d'un câble et dans les fils par une ligne d'énergie voisine. Les auteurs indiquent les divers moyens de réduire ces forces électromotrices par des éclissages électriques convenables de l'enveloppe des sections successives de câble entre boîtes de jonctions et par l'emploi d'armures en fils de grande perméabilité, ainsi que par l'augmentation de la conductibilité de l'enveloppe au moyen d'un enroulement extérieur de fils de cuivre nu.

La troisième partie est consacrée à l'exposé des conditions de fonctionnement introduites par l'emploi de relais soit à deux fils, soit à quatre fils. Les auteurs y expliquent les raisons qui limitent l'emploi des premiers à des liaisons dont la longueur n'excède pas 700 km environ. Ils donnent aussi quelques indications sur la méthode employée aux Etats-Unis pour compenser automatiquement les variations de la résistance et de la capacité d'un câble dues aux variations de température. Après quelques mots sur le phénomène d'écho, ils traitent de la distorsion, d'abord de celle due à la variation de l'affaiblissement avec la fréquence, puis plus longuement de la distorsion de phase. Ils montrent son influence sur le choix de la fréquence de coupure suivant la longueur du câble et indiquent le procédé Kupfmuller pour y remédier en insérant dans les stations de relais amplificateurs des organes appelés équilibreurs de phase. L'emploi de ce dispositif permettrait d'adopter pour tous les câbles, quelle que soit leur longueur, une charge normale et uniforme. — J. S.

(1) A. Engelhardt et H. Cobden-Turner, *The electrical Review*, 26 juillet, 2 et 9 août 1929, t. CV, p. 144-147, 186-189 et 226-229, 8500 mots, 24 figures.

Usines hydrauliques commandées à distance en Afrique du Sud (1).

L'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft a livré en 1928 deux petits groupes hydrauliques de 125 et 95 kv-a aux municipalités d'Umtata et de Ceres. Ces deux installations présentent un intérêt tout particulier du fait qu'elles ont été construites pour réaliser, par les moyens les plus simples, une indépendance complète du poste au point de vue de l'entretien et de l'absence de surveillance sur place. Toutefois, le fonctionnement automatique n'a pas été envisagé les distances entre les usines et les postes centraux ne comportant que 4,4 et 12 km respectivement. La solution de la commande à distance au moyen d'ondes à haute fréquence, fut écartée en raison de son prix élevé et il ne fut pas possible de se servir de câbles pour la transmission d'énergie pour la commande, étant donné que c'est l'usine à commander qui seule met ces câbles sous tension.

C'est donc une transmission à deux fils, empruntant le même parcours que les câbles de transmission d'énergie qui fut adopté. Des machines synchrones furent choisies pour les usines, la synchronisation ne présentant pas de difficultés et toutes les transmissions aboutissant au même poste. Les alternateurs sont entraînés par turbines Francis à axe horizontal à la vitesse de 750 t : mn. La hauteur des chutes est de 29 m environ, l'alternateur de l'usine de Umtata est prévu pour 400 v, celui de Ceres pour 3300 v à 50 p : s. Pour la mise en route à distance de la turbine, la manœuvre de la vanne d'admission de l'eau se fait au moyen d'un petit moteur électrique. Dans ce but, une source indépendante de courant a été prévue, sous la forme d'une bat-

(1) B. Fleck. *AEG Mitteilungen*, juillet 1929, n° 7, p. 462-467, 3200 mots, 4 figures.

terie de 24 v et 85 A-h disposée dans des caisses étanches en caoutchouc ne nécessitant pas un local spécial. Le disjoncteur dans l'huile ainsi que le rhéostat de champ automatique sont normalement couplés ; la mise en route ne requiert que l'ouverture de la vanne et le réglage de la vitesse. La tension est réglée automatiquement par le régulateur Tirrill.

Après ouverture de la vanne la même batterie sert pour l'alimentation du moteur de réglage de vitesse. Son énergie suffit pour un fonctionnement de 6 à 10 jours ; la charge se fait semi-automatiquement au moyen d'un redresseur à vapeur de mercure, dont la mise en route s'effectue manuellement et l'arrêt, automatiquement. Dans le cas où la vitesse des groupes tombe à 75 pour 100 de la vitesse normale, ceux-ci sont arrêtés et sont automatiquement prêts pour un nouveau démarrage. Le fonctionnement sans surveillance nécessite divers organes de sécurité, tels que bobines à maximum sur les trois phases, relais à échauffement pour le transformateur et pour la machine, thermomètres à contact sur les paliers du groupe. Tous ces appareils provoquent en cas de nécessité le fonctionnement du disjoncteur et de la vanne. Il existe en outre un dispositif de sécurité contre la rupture de la courroie du régulateur, qui provoque la fermeture des aubages directeurs de la turbine. Dans le cas du fonctionnement d'un des dispositifs de sécurité, un agent dépêché du poste central peut lire sur un tableau spécial l'indication relative à la cause de l'arrêt. — S. O.

L'amorçage à 60 périodes par seconde aux longues chaînes d'isolateurs suspendus (1).

Les tensions d'amorçage à sec aux chaînes d'isolateurs sont d'une certaine importance dans l'étude et le choix de l'isolation dans chaque projet particulier. L'amorçage sous pluie a été proposé comme un critérium, mais des difficultés rencontrées dans la normalisation d'une « pluie » ou d'un « brouillard » artificiels ont montré qu'il était imprudent de l'accepter comme seule épreuve. Au Ryan High-Voltage Laboratory des essais ont été entrepris sur des chaînes verticales et horizontales sous des tensions jusqu'à 1 100 kv : ce sont ces essais qui font l'objet de l'article. L'amorçage résulte de l'état d'ionisation de l'air environnant, qui dépend du gradient du potentiel et, par conséquent, de la forme du champ électrostatique. Le champ autour de la chaîne n'est pas uniforme. Les capacités en jeu, comme il est bien connu, lui donnent une intensité plus grande à l'extrémité supportant la ligne, d'où l'emploi de dispositifs tendant à l'égaliser (cornes ou anneaux de protection). Deux types d'isolateurs furent éprouvés dont les dimensions principales étaient : diamètres 10 pouces (types A et B) et espacements 5,75 pouces (type A) et 5 pouces (type B). Aux extrémités des chaînes furent utilisés, du côté de la ligne, des anneaux de protection, les cornes ayant été jugées insuffisantes, et du côté du sol, des anneaux d'amorçage. Pour les chaînes simples les anneaux de garde de forme et de section circulaires avaient 22 pouces de diamètre intérieur et 2,5 pouces de diamètre de section. Leur plan était à 1 pouce au-dessous du sommet de la calotte de l'isolateur de ligne. Les anneaux d'amorçage étaient plats, de 0,25 pouce d'épaisseur et de 20 pouces de diamètre intérieur. Ils étaient au niveau du dernier élément et mis à la terre avec lui. Pour les chaînes doubles, les anneaux de protection et d'amorçage étaient semblables, de forme ovale, ayant intérieurement 33 et 20 pouces de longueurs d'axes ; leurs sections également ovales avaient 0,5 et 1 pouce de longueurs d'axes. Les tensions d'amorçage pour les deux types A et B d'isolateurs ont été mesurées pour des chaînes verticales et horizontales dans les cas suivants :

1° Chaînes sans anneaux de protection ou d'amorçage ;

2° Chaînes munies d'anneaux ;

3° Chaînes munies d'anneaux, avec pylône à l'extrémité mise à la terre.

Dans chacun de ces cas les organes les plus rapprochés des chaînes, autres que ceux faisant partie du câble à haute tension et du câble mis à la terre, étaient distants de 18 pieds.

Comme l'amorçage d'arc pour chaque écartement dépend de l'état d'ionisation de l'air, la tension la plus grande atteinte avant cet amorçage est la valeur qui doit être mesurée. Si la tension est alternative, la valeur requise est celle du maximum qui précède immédiatement l'arc.

Afin d'obtenir des mesures aussi précises que possible on a étalonné le voltmètre et son transformateur pour chaque cas présentant des capacités différentes ou des pertes différentes par effluves. On en a déduit autant de courbes d'étalonnage auxquelles on s'est reporté dans chaque cas. Ces étalonnages ont été fait par relevé oscillographique de l'onde du courant dans une résistance liquide connue. Certains principes doivent être admis avant de faire la comparaison des valeurs des tensions d'amorçage des différentes chaînes. Ces principes sont les suivants :

1° La valeur de la tension d'amorçage dépend de la distance d'amorçage et non du nombre d'éléments de la chaîne. Cette distance est la longueur du plus court chemin dans l'air que peut suivre l'arc depuis la ligne jusqu'à l'extrémité mise à la terre de la chaîne ;

2° Les comparaisons des tensions d'amorçage de chaînes en ordre de fonctionnement doivent être faites entre elles ou avec les valeurs obtenues avec une chaîne étalon et non avec la tension d'amorçage d'un seul élément de la chaîne ;

3° La valeur importante a considérer est la plus petite tension d'amorçage.

L'auteur discute les résultats obtenus. Comme la tension d'amorçage d'une chaîne d'isolateurs dépend jusqu'à un certain point de l'état d'ionisation initial de l'air ambiant, on ne peut pas trouver une valeur constante pour cette tension. Les résultats des mesures ne peuvent pas être représentés par une courbe mais plutôt par une surface.

Les conclusions de l'auteur furent : que 15 pour 100 de variation dans la longueur des attaches n'influait guère sur les tensions d'amorçage quelle que soit la position des chaînes quand elles étaient munies d'anneaux de protection ; que sans anneau de protection, l'amorçage de l'arc en cascade était favorisé ; que la relation unissant les tensions d'amorçage aux distances n'était pas linéaire ; que les plus basses tensions d'amorçage observées le furent pour des chaînes d'arrêt ; que les chaînes doubles avaient les mêmes tensions d'amorçage, dans les mêmes conditions, que les chaînes simples de même longueur. — M. R. et I. F.

(1) R.-H. Angus. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, novembre 1929, t. XLVIII, p. 837-841, 2 500 mots, 9 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Omnium lyonnais.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 13 NOVEMBRE 1929.

Le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 20 millions de francs et dont le siège social est à Lyon, 8, rue de la Bourse, donne tout d'abord quelques renseignements sur les entreprises avec lesquelles elle est en relations d'affaires. Nous extrayons de cette partie du rapport les rensignements qui suivent :

Entreprises de transports en commun. — « Dans les entreprises de transports en commun, est-il écrit dans le rapport, les conditions d'exploitation après le trouble profond consécutif à la période de guerre, évoluent vers un régime de stabilisation auquel il convient de s'adapter par une révision des traités administratifs et, dans certains cas, par une transformation technique plus ou moins profonde. Les pourparlers poursuivis par les sociétés concessionnaires au cours de cet exercice ont d'ailleurs permis de constater, chez les pouvoirs concédants, une double préoccupation visant à la réorganisation de ces affaires : 1° d'une part, le désir de voir procéder, là où cela est possible, à un regroupement et à une concentration des moyens de transports desservant une même agglomération ou une même région ; 2° d'autre part, le souci de substituer à une politique précaire et au jour le jour, que l'instabilité monétaire avait imposée dans les années écoulées, une politique plus large d'amélioration systématique, de remise en état et même de transformation des réseaux. »

C'est dans cet ordre d'idées qu'ont évolué certaines entreprises auxquelles l'Omnium lyonnais est intéressé.

La Compagnie du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud, a fusionné avec la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

Des pourparlers sont engagés entre la Société des Chemins de fer sur route d'Algérie et les deux autres sociétés de transports de la région algéroise, en vue de parvenir à une fusion permettant de réaliser une avantageuse unification de l'ensemble des réseaux ainsi que d'importants développements que comporte pour eux l'essor considérable de l'agglomération algéroise.

A Cannes, une réorganisation des transports en commun urbains et extra-urbains est à l'étude par les soins de la Compagnie des Tramways de Cannes, à l'instigation des autorités départementale et communale.

A Saint-Etienne, la Compagnie des Chemins de fer à voie étroite de Saint-Etienne, Firminy, Rive-de-Gier et extensions examine avec les pouvoirs concédants les conditions d'un nouveau régime, probablement définitif, appelé à succéder aux conventions provisoires en vigueur jusqu'en 1930.

Les entreprises de tramways dans lequelles l'Omnium lyonnais est intéressé envisagent, d'une part, d'importants travaux de renouvellement ou d'extension, d'autre part, la création ou le développement de services d'omnibus automobiles.

Entreprises minières. — En ce qui concerne les affaires minières dans lesquelles l'Omnium lyonnais avait pris des participations dans la période d'instabilité monétaire, l'intention du conseil est de ne pas étendre ces participations. Les participations de cette nature ont d'ailleurs été amorties dans une très large mesure et les sommes pour lesquelles elles figurent encore au bilan sont suffisamment réduites pour n'apporter aucun trouble dans les résultats des exercices ultérieurs, en toute éventualité.

En vertu de la même politique de renoncement aux participations de caractère exceptionnel prises au lendemain de la guerre, le conseil a, dans le courant de l'exercice 1928-1929, réalisé les terrains dont il avait fait l'acquisition à Casablanca. La liquidation de cette opération a donné lieu à un bénéfice.

Entreprises de production et de distribution d'énergie électrique. — La Société anonyme des Forces motrices de la Sélune, au développement de laquelle l'Omnium lyonnais a financièrement contribué dans une notable mesure, a chargé ce dernier de l'étude et l'exécution d'importantes extensions de ses usines et réseaux. Les travaux d'aménagement de la seconde chute de la Sélune, commencés au cours de l'exercice, prendront leur pleine activité lors des prochains mois ; leur durée prévue est de deux années.

Au cours de l'exercice écoulé l'Omnium lyonnais a été chargé par la Compagnie du Bourbonnais (P. de Lachomette, Villiers et Cie) de l'étude et de la construction, en qualité de directeur des travaux, d'une ligne de transmission d'énergie s'étendant sur les départements de la Manche et de l'Ille-et-Vilaine. La construction de cet ouvrage est actuellement en cours,

C'est également en qualité de directeur des travaux que, pour le compte de la Société électrique de la Sidérurgie lorraine, l'Omnium a étudié les programmes et dirigé les travaux qui ont permis la coopération en parallèle de la plupart des importantes usines métallurgiques du bassin de Briey, réalisant ainsi un projet qui, lorsqu'il fut conçu et arrêté, se présentait comme l'un des plus vastes et des plus délicats dans cet ordre d'idées en Europe. Au fur et à mesure de sa réalisation et pour satisfaire à des besoins sans cesse croissants, ce programme s'est largement développé et se développe encore.

Ainsi qu'il a été signalé l'an dernier (1) la Compagnie d'Electricité industrielle, qui exécute de très puissantes installations hydroélectriques dans les Pyrénées, a confié à l'Omnium lyonnais un mandat technique, limité à une partie du programme dont elle projetait la réalisation. Les travaux dont il s'agit sont actuellement en cours d'exécution. Le mandat vient d'ailleurs d'être largement étendu et l'Omnium lyonnais, qui a constitué à Luchon un bureau technique à cet effet, a été chargé de diriger l'exécution des nouveaux travaux qui s'échelonneront sur plusieurs années et qui permettront à la Compagnie d'Electricité industrielle de mettre en œuvre, dans des conditions particulièrement

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 2 février 1929, t. XXV, p. 189-160.

favorables, les sources d'énergie importantes faisant l'objet des concessions déjà accordées ou en cours d'instruction.

Enfin, l'Omnium procède à l'étude d'affaires nouvelles, tant en France et notamment dans le Massif-Central, qu'en divers pays étrangers.

Le concours que l'Omnium lyonnais est en mesure d'apporter aux entreprises de production et de distribution d'énergie est exposé par le conseil d'administration dans les termes suivants :

« La situation d'entière indépendance dans laquelle se trouve l'Omnium lyonnais à l'égard des sociétés de construction et des maisons d'entreprises lui permet, tout en entretenant avec celles-ci les meilleurs rapports, d'agir en toutes circonstances au mieux des intérêts de ses mandants et de parvenir, par conséquent, à l'exécution la plus économique des travaux qui lui sont confiés.

» L'assistance technique et administrative que nous donnons aux sociétés d'exploitation qui sont nos clientes se complète souvent par un concours financier. Nous pouvons leur fournir celui-ci, soit par des crédits aménagés de façon à réduire au minimum la charge des intérêts intercalaires de construction, soit par des prises de participations dans le capital même de ces sociétés. Les disponibilités de trésorerie relativement larges que nous ont procurées l'augmentation de capital de 1928 ainsi que la remise en circulation des parts de fondateur nous met en position de donner immédiatement de tels concours financiers aux sociétés qui peuvent en avoir besoin, en principe corrélativement avec la mission technique dont nous sommes chargés ».

Dans la partie du rapport consacrée aux questions financières, le conseil d'administration rappelle que, conformément aux décisions de l'assemblée extraordinaire du 16 mars 1929 (1), les parts de fondateur autrefois créées puis rachetées par la société elle-même, ont été remises en circulation, sous le nom de parts bénéficiaires, après division en cinquièmes. Cette opération a procuré de nouvelles disponibilités importantes qui ont conduit le conseil d'administration à constituer certains postes de réserve nouveaux et à grouper ceux existants en effectuant les opérations suivantes :

a) La réserve légale a été dotée d'une somme de 628 162,30 fr par prélèvement sur le chapitre « fonds de réserve » qui figurait au bilan de l'an dernier, après l'affectation des bénéfices de l'exercice 1927-1928, pour un montant de 1 246 700,72 fr. Sur la répartition des bénéfices de l'exercice 1928-1929, la somme revenant à la réserve légale, soit 125 136,98 fr, ajoutée aux sommes précédentes, porte la réserve légale à son plein de 2 millions de francs prévu par la loi et les statuts.

b) La somme formant le solde du « fonds de réserve » antérieur, soit 1 703 991,61 fr après le prélèvement ci-dessus mentionné de 628 162,30 fr et d'une somme de 66 920,90 fr représentant le complément des frais entraînés par l'augmentation de capital de 1928, a été augmentée de 8 296 008,39 fr par une dotation provenant des disponibilités procurées par l'émission des parts. Le total ainsi obtenu, soit 10 000 000 fr, sera inscrit désormais au passif sous le nom de « fonds de réserve extraordinaire ».

c) Le surplus des disponibilités procurées par l'émission des parts, compte tenu des impôts, frais et commissions entraînés par cette opération ainsi que du montant du coupon des parts acquis au 30 juin dernier, figure au passif pour 1 333 045,36 fr sous le nom de « fonds de prévoyance et d'amortissement ».

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 18 mai 1929, t. XXV, p. 786.

Le conseil ajoute les remarques suivantes concernant le bilan : A l'actif, le chapitre « immeubles » figure pour 700 000 fr. alors que l'an dernier une somme de 1 500 000 fr était inscrite sous le nom « immeubles et terrains ». La différence résulte de l'aliénation, signalée plus haut, des terrains acquis à Casablanca en 1920.

Le poste « immeubles » se trouve ainsi ramené au chiffre pour lequel il figurait au bilan avant l'acquisition de ces terrains ; il correspond à l'immeuble de la rue d'Athènes, à Paris, utilisé pour les services centraux et pour ceux d'un certain nombre de sociétés domiciliées dans cet immeuble.

Le chapitre « caisses et banques » est en augmentation de 8 797 654,05 fr comme conséquence immédiate de la remise en circulation des parts de fondateur, opération qui a été effectuée peu avant la clôture de l'exercice.

Les chapitres « débiteurs divers » et « portefeuille » sont respectivement en augmentation de 2 436 286,89 fr et 4 431 076,85 fr en raison des participations prises dans le cours de l'exercice et des découverts consentis.

Au passif, dans le compte « créditeurs » sont comprises des sommes qui sont versées en compte courant par diverses sociétés filiales dont l'Omnium dirige la trésorerie.

Au crédit du compte de profits et pertes les produits de l'exercice figurent pour 3 963 197,34 fr ; le report de l'exercice précédent pour 77 612,33 fr ; soit, au total, 4 040 809,67 fr.

Le débit de ce compte comprend : frais généraux, pour 1 460 457,59 fr.

Le solde créditeur ressort ainsi à 2 580 352,08 fr. Il est réparti de la façon suivante : réserve légale (5 pour 100 sur 2 502 739,75 fr), 125 136,98 fr ; dividende statutaire (6 pour 100, soit 6 fr, à 100 000 actions entièrement libérées et 6 pour 100, soit 1,50 fr, à 100 000 actions libérées de 25 fr), 750 000 fr ; au conseil d'administration, 244 140,41 fr ; dividende supplémentaire (5 fr à 200 000 actions), 1 000 000 fr ; aux parts bénéficiaires, 333 333,33 fr ; report à nouveau, 127 741,36 fr.

Le dividende des actions se trouve ainsi fixé à 11 fr pour les actions entièrement libérées et à 6,50 fr pour les actions libérées de 25 fr, et le dividende des parts (titres divisés en cinquièmes) à 13,33 fr par part.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Actionnaires	7 500 000 »
Immeubles	700 000 »
Caisses et banques	21 402 777,61
Débiteurs divers	4 398 248,28
Portefeuille	11 376 278,85
Frais de premier établissement, mobilier, études et divers	1 »
	45 377 305,74

Passif.

	fr
Capital	20 000 000 »
Réserve légale	1 874 863,02
Fonds de réserve extraordinaire	10 000 000 »
Fonds de prévoyance et d'amortissements	1 333 045,36
Titres à libérer	1 695 875 »
Créditeurs divers	7 836 568,47
Coupons Omnium lyonnais	56 601,80
Report de l'exercice précédent	77 612,33
Bénéfice nets 1928-1929	2 502 739,75
	45 377 305,74

SECTION DE LÉGISLATION

Sur les plantations d'arbres au voisinage des lignes électriques

La présence des arbres au voisinage des lignes électriques est une cause de danger permanent, soit pour la sécurité des personnes, soit pour le bon fonctionnement des ouvrages de la distribution. Aussi l'auteur de l'article qui suit a pensé qu'il était intéressant d'étudier ici le régime légal des arbres, tant au regard des règles du droit commun de la propriété que des règles spéciales aux entreprises de distribution.

I. **Règles du droit commun.** — Le droit d'abattre ou d'élaguer les arbres qui gênent un propriétaire dans ses relations de voisinage est, en principe, subordonné à la distance de ces arbres, au regard de la propriété voisine. La question se pose non seulement entre propriétaires voisins, mais encore entre les propriétaires et l'administration, si leurs immeubles cotoyent la voie publique.

1. Plantation sur le domaine privé. — a) *Distances réglementaires.* — En vertu des articles 671, 672, 673 du Code civil modifié par les lois du 20 août 1881 et 12 février 1921, la distance à observer pour les plantations entre voisins est fixée ainsi qu'il suit :

2 m de distance de la ligne séparative des héritages si les arbres ont plus de 2 m de hauteur. Il appartient au propriétaire, s'il veut les conserver sans réclamation, de les maintenir à cette hauteur.

0,50 m de distance pour les arbres d'une hauteur inférieure à 2 m.

0,50 m pour les haies, bois, etc.

Exception est faite pour les espaliers que le propriétaire peut adosser sur le mur séparatif de l'héritage à condition de ne pas dépasser la hauteur de ce mur ; et également pour les haies vives et mitoyennes qui servent de clôture entre deux héritages. Aucune distance n'est imposée dans ces deux cas.

b) *Abatage.* — Le propriétaire qui se trouve gêné par les plantations faites sur la propriété voisine à une distance non réglementaire a le droit d'en exiger l'enlèvement (1).

Néanmoins, le propriétaire des plantations peut s'opposer à cette demande :

1° S'il existe un titre autorisant ces plantations, et émanant du propriétaire, ou de ses ayants cause ;

2° S'il y a plus de 30 ans que ces plantations sont faites sans réclamation du voisin. C'est le jeu de la prescription ;

3° Si les plantations ont été établies par le père de famille propriétaire d'un domaine qu'il a divisé ensuite entre ses héritiers.

C'est l'effet de la destination du père de famille.

(1) Cour de Cassation ; arrêt du 7 février 1928.

A la différence des arbres ainsi tolérés par le fait des circonstances ci-dessus, les nouvelles plantations, sauf convention contraire ne peuvent être faites qu'à la distance légale ;

c) *Elagage.* — Le propriétaire gêné par les branches d'arbres, arbrisseaux, qui surplombent sur son fonds, quelle que soit d'ailleurs la distance à laquelle ils sont établis, a le droit de forcer le propriétaire à les « couper » à l'aplomb de son héritage.

S'il s'agit de racines, ronces ou radicelles, le propriétaire gêné peut les couper lui-même à la limite séparative de son héritage.

Dans l'un et l'autre cas, il n'est point dû de dommages au propriétaire des arbres alors même que ceux-ci devrait mourir du fait de l'élagage.

Contrairement aux règles appliquées en matière d'abatage, le droit pour le propriétaire de faire élaguer les arbres ou de couper les racines, est imprescriptible et peut être exercé à tout moment alors même que la situation incriminée durerait depuis plus de 30 ans. Pas de prescription en la matière pour le maintien des branches qui surplombent le fonds voisin.

d) *Responsabilités.* — Le droit de propriété des plantations entraîne au préjudice de son détenteur la responsabilité des accidents aux personnes ou aux choses que celles-ci peuvent occasionner, soit par un défaut d'entretien qui motiverait leur chute, soit par une maladresse dans leur abatage ou leur élagage.

En principe, il appartient à celui qui se prétend victime de l'accident de démontrer la faute du propriétaire ou de ses préposés (article 1382 Code civil ; jugement du Tribunal de Saint-Marcellin, 25 juillet 1921 ; arrêt de la Cour de Douai du 4 mai 1925).

Néanmoins certains auteurs ou tribunaux considèrent que le propriétaire des plantations est responsable « de plano » comme détenteur d'une chose mobilière dont il a la garde, en l'espèce, l'arbre (article 1384 du Code civil) (1).

Il lui appartient d'écarter ce risque en démontrant que l'accident est dû à la force majeure ou au fait d'un tiers.

(1) Arrêt de la Cour de Grenoble du 19 février 1892 ; *Recueil de Sirey*, 1893, 2. 205.

D'autres, enfin, considèrent que le propriétaire est responsable comme détenteur d'un objet immobilier, arbre incorporé au sol, et que dans ce cas, la responsabilité du propriétaire n'est engagée que si sa faute est démontrée (article 1 386 du Code civil) (1).

2. PLANTATION SUR LE DOMAINE PUBLIC OU AU VOISINAGE DE CE DOMAINE. — Les règles que nous venons de préciser relativement aux plantations entre propriétés voisines, s'appliquent entre le propriétaire riverain d'une voie publique et l'administration chargée de la conservation de ces voies. Mais elles ne s'appliquent point aux plantations établies sur la voie publique au regard des propriétés riveraines.

1° *Obligation des propriétaires vis-à-vis des voies publiques riveraines.* — *a*) Distances réglementaires. — Les riverains d'une *route nationale* sont tenus de respecter les distances prescrites par la loi du 9 ventôse, an XIII, article 5 : soit 6 m de distance de la voie publique pour les arbres, 0,50 m pour les haies séparatives (arrêté ministériel du 5 janvier 1907), pour les bois et forêts à une distance telle que l'espace libre au ras du sol soit de 20 m de largeur entre les deux côtés de la voie (*Recueil de Dalloz*. Voirie par terre, n° 40) ; dans la pratique, ces distances ne sont point rigoureusement observées et les préfets chargés de réglementer ces distances, s'inspirent actuellement des dispositions plus libérales des articles 671 et suivants du Code civil.

Les riverains d'un *chemin vicinal* sont tenus d'observer les distances prescrites par l'Instruction générale du 6 décembre 1870, article 286, soit 3,50 m pour les arbres fruitiers, 3 m pour les arbres forestiers, 2,50 m pour les bois taillés, 6 m entre chaque arbre planté, 0,50 m pour les haies sans que celles-ci puissent dépasser 1,50 m de hauteur. Ici encore l'administration préfectorale atténue les rigueurs de ce texte dans les règlements particuliers.

Les riverains d'un *chemin rural reconnu* sont tenus également de respecter les distances fixées par un règlement général établi pour les voies communales, et dont le modèle type a été donné dans une circulaire ministérielle du 2 janvier 1883.

La distance est de 3 m pour les arbres fruitiers, 2 m pour les arbres forestiers, 1 m pour les bois taillis, 0,50 m pour les haies avec un maximum de 1,50 m de hauteur, 4 m de distance d'un arbre à l'autre, 2 m de distance pour les peupliers d'Italie.

Ainsi qu'on le voit, les distances de la ligne séparative se rapprochent au fur et à mesure que l'importance de la voie et sa largeur diminuent.

Les riverains d'un *chemin rural non reconnu* sont dans la situation de tout propriétaire au regard d'un propriétaire voisin. Ce chemin fait partie du domaine privé de la commune qui se comporte comme une simple propriété privée.

b) Abatage et élagage. — Les propriétaires riverains des *voies publiques* sont assujettis aux droits de l'administration, soit pour faire abattre les arbres qui ne seraient point à la distance prescrite par la loi ou les règlements, soit pour élaguer les branches qui surplomberaient sur la voie publique ou couper les racines qui dépasseraient la ligne séparative.

Les frais d'élagage sont à la charge des propriétaires ainsi que ceux occasionnés par la surveillance ou l'intervention des agents de la voirie : article 192 du Règlement général des Départements du 21 mai 1836.

Le maire d'une commune pour les chemins ruraux, le préfet pour les routes nationales, départementales et les chemins vicinaux peuvent prendre des arrêtés en vue de l'élagage sur ou le long des voies publiques. (Conseil d'Etat, 1er juin 1927) et l'infraction à ces arrêts rend le propriétaire justiciable des tribunaux de simple police pour contravention auxdits arrêtés (article 471, Code pénal ; loi du 20 août 1881, articles 8 et 9 ; loi du 6 novembre 1870, articles 183, 192, 193 ; loi du 21 mai 36, article 31). Arrêt de la Cour de Cassation du 1er juin 1927. (*Recueil de Dalloz*, 1928, 1, 40).

A l'inverse le propriétaire n'a aucun droit sur les plantations établies sur les voies publiques, ni pour les faire abattre à raison de la distance, ni pour les élaguer à raison d'empiètement sur son fonds.

2° *Devoirs de l'administration vis-à-vis des propriétés riveraines de la voie publique.* — L'administration, n'est pas pour les plantations sur la voie publique, assujettie, en principe, aux distances qui sont imposées à la propriété privée.

a) Distances réglementaires ; abatage et élagage. — *Sur les routes nationales*, aucune distance n'est prescrite entre les plantations de la route et la limite des propriétés riveraines, les règles des articles 671 et suivants du Code civil ne sont pas applicables. (Arrêt de la Cour de Cassation du 16 décembre 1881, rapporté au *Recueil de Sirey*, 1882, 1, 185.)

Toutefois une instruction ministérielle du 21 avril 1897 prescrit aux préfets et maires de déterminer ces distances, de respecter dans une certaine mesure la propriété privée riveraine.

Propriétaire des arbres plantés sur la voie publique, l'Etat peut en disposer et les abattre. Mais il est nécessaire d'avoir une autorisation du Ministère des Travaux publics. (Circulaire ministérielle du 24 septembre 1911. Décret du 16 décembre 1911, article 102.)

Il est recommandé aux entrepreneurs chargés de cet abatage de prendre toutes les précautions pour ne pas nuire à la circulation ou à la sécurité publique. (Circulaire ministérielle du 2 juin 1920,)

L'administration peut également exiger l'abatage et l'élagage des arbres qui empièteraient sur la voie publique.

Sur les chemins vicinaux, aucune distance n'est imposée pour la plantation de l'administration au regard de la propriété privée.

(1) Arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 19 décembre 1921 ; (*Gazette des Tribunaux* du 4 janvier 1922) ; Jugement du Tribunal civil de Grenoble du 28 mars 1919, rapporté au *Bulletin de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques*, 1922, n° 417 ; consulter l'ouvrage de M. Mestre, *Responsabilité des propriétaires d'arbres*, n° 201 et suivants ; et celui de M. Colombet, *Droits du distributeur*, pages 204 et suivantes.

Pour ceux plantés sur ces chemins, l'administration a le droit de les abattre et de les élaguer (articles 192, 193 du décret du 6 décembre 1870). Elle peut également ordonner l'abatage ou l'élagage des arbres des propriétés riveraines.

Certaines plantations sont faites sur les chemins vicinaux par les propriétaires riverains. Ceux-ci peuvent faire l'objet d'une appropriation privée, et peuvent être acquis par voie de prescription et bénéficier de l'action possessoire (Arrêts de la Cour de Cassation, 8 novembre 1880. *Recueil de Dalloz*, 1801, 1, 28. 21 novembre 1877. *Recueil de Dalloz*, 1878, 1, 301), sans toutefois pouvoir prescrire le sol du chemin.

Le préfet peut prendre des arrêtés à l'effet d'ordonner l'abatage des arbres établis sur le chemin et qui porteraient un trouble à la circulation. (Conseil d'Etat, 9 mai 1838; Conseil d'Etat, 29 février 1860.)

Sur les chemins ruraux, il n'existe pas davantage de distance imposée à l'administration communale. (Décret du 3 janvier 1883, articles 94, 95.) Le maire peut prendre des arrêtés en vue de la plantation d'arbres, le long de ces voies, mais « sous la réserve des droits des tiers » Un arrêté qui méconnaitrait cette règle serait susceptible d'annulation. (Conseil d'Etat, 2 août 1924.)

Le maire peut exiger l'abatage ou l'élagage des plantations voisines de ces chemins si celles-ci empiètent de façon illégale.

b) Responsabilité. — L'administration étant propriétaire des arbres établis sur les voies publiques est responsable des dégâts qui peuvent être occasionnés par leur chute accidentelle par suite de vétusté ou de pourriture ou intentionnelle par suite d'abatage ou d'élagage.

Il a été jugé en matière d'accidents occasionnés sur un chemin rural que les arbres y croissant constituent des ouvrages publics. Or, tout accident occasionné par un ouvrage public entraîne la responsabilité de l'administration en vertu de la théorie du risque administratif, à moins que celle-ci ne démontre le cas de force majeure, la faute de la victime ou celle d'un tiers. (Voir en ce sens un arrêté du Conseil de Préfecture de la Haute-Garonne du 2 juin 1928, et en sens contraire un arrêté du Conseil de Préfecture du Loiret du 11 août 1927).

L'administration est également responsable des dommages qui peuvent être occasionnés par la présence des arbres, et qui dépassent les inconvénients du voisinage, tel que l'ébranlement d'un mur occasionné par les racines d'un arbre planté sur une voie communale. (Conseil d'Etat, 28 décembre 1928).

Mais les riverains ne peuvent se montrer rigoureux et se plaindre de la gêne occasionnée par les plantations établies sur la voie publique, étant donné les avantages qu'ils retirent d'autre part de cette voie. (Arrêt de la Cour de Cassation du 16 novembre 1881 et arrêt du Conseil d'Etat du 2 juin 1866).

3. Règles de compétence. — *Compétence civile des juges de paix.* — Les contestations relatives à l'observation des distances légales, à l'abatage ou à l'élagage des arbres, sont de la compétence du juge de paix, quand la contestation s'élève entre particuliers.

Il en est ainsi en vertu de l'article 6 de la loi du 12 juillet 1905 qui attribue à cette juridiction l'examen de toute action pour dommage aux champs (dans lesquels rentre nécessairement l'atteinte portée aux arbres y croissant).

Et plus encore en vertu de l'article 7 de la même loi qui attribue formellement compétence à ce magistrat pour connaître des litiges relatifs aux élagages.

Le juge de paix est compétent :

1° Sans appel, lorsque la demande des dommages n'excède pas 600 fr.

2° A charge d'appel.

a) Pour toute demande relative à l'élagage des arbres ;

b) Pour les actions relatives aux distances légales ou déterminées par les usages ou règlements.

L'appel est porté devant les tribunaux d'arrondissement ou à défaut devant le tribunal départemental. (Cons. Chambéry, 1er juin 1910, B. S. F. H. 1910. n° 128).

b) *Compétence administrative.* — Les difficultés contentieuses qui peuvent s'élever entre l'administration et les riverains sont en principe de la compétence des Conseils de Préfecture et du Conseil d'Etat, comme dommages résultant de travaux publics. Exception est faite, et les tribunaux judiciaires restent compétents pour l'appréciation des questions de propriété qui seraient soulevées par les riverains.

Le riverain lésé par un arrêté pris par l'administration peut, d'autre part, saisir le Conseil d'Etat par la voie directe du recours pour excès de pouvoir si ledit arrêté était pris en violation de la loi.

c) *Compétence des juridictions pénales.* — 1° Délits de mutilations d'arbres. — En dehors des cas où le propriétaire est autorisé à couper ou à élaguer les arbres qui lui portent préjudice, l'abatage ou l'élagage inconsidéré constitue le délit de mutilation d'arbres, à condition que cette action ait été entreprise de mauvaise foi.

S'il y a mutilation complète, ou atteinte à la vie de l'arbre, le délit est puni par l'article 445 du Code pénal de 6 jours à 6 mois d'emprisonnement par chaque arbre abattu.

Si la mutilation est partielle et moins importante, le délit est puni par l'article 16 de la loi du 26 septembre et 6 avril 1751 de 6 mois de prison au maximum.

Le délit, quelle que soit la gravité, est justiciable des tribunaux correctionnels.

En dehors de la poursuite du délit, l'auteur s'expose à une action de dommages-intérêts de la part du propriétaire des arbres, action en dommages-intérêts jointe sous forme de partie civile à la poursuite correctionnelle ou portée directement et indépendamment de cette action, devant la juridiction civile.

Toutefois, l'action pénale ne peut être poursuivie que contre l'auteur même du délit, préposé ou entre-

preneur de celui qui a commandé la mutilation. Mais ce dernier reste seulement civilement responsable de la réparation pécuniaire du dommage occasionné (Arrêté de la Cour de Cassation du 30 décembre 1892, rapporté au *Recueil de Dalloz*, 1894, 1, 364).

2° *Contraventions de voirie.* — Les plantations d'arbres sur la voie publique aussi bien que l'abatage ou l'élagage des arbres plantés sur cette voie. par un tiers ou un propriétaire riverain, constitue une usurpation du domaine public, une contravention de grande ou de petite voirie suivant la nature des voies dont le sol a été usurpé. La poursuite de cette contravention est de la compétence des tribunaux de simple police, au premier degré, des tribunaux d'arrondissement en appel (Décret-loi du 28 novembre 1926).

II. **Règles applicables aux entreprises de distribution.** — 1. Règles du droit commun. — Les règles que nous venons de déterminer au point de vue des distances légales, des droits d'abatage et d'élagage s'appliquent aux entrepreneurs de distribution d'énergie électrique comme à tout autre particulier.

a) *Au regard de la propriété privée.* — 1° Si un entrepreneur de distribution est substitué au propriétaire d'un immeuble par suite de l'acquisition qu'il en a faite de ce dernier, il jouit des mêmes droits que celui-ci sur la partie de l'immeuble acquise par lui. Il peut abattre et élaguer à sa guise les plantations situées sur le terrain cédé.

Il jouit en outre, des mêmes droits que celui-ci pour faire abattre ou élaguer les arbres situés sur la propriété voisine hors des distances légales ou ceux qui empiéteraient sur son fond.

2° Dans le cas où l'entrepreneur n'aurait aucun titre régulier pour occuper la part d'immeubles sur laquelle sont établies ses lignes électriques, il ne peut évidemment ni user du droit du propriétaire d'abattre ou d'élaguer les arbres sur son propre domaine, ni à plus forte raison user de ce droit à l'encontre du propriétaire voisin.

Sa situation est plutôt critique. Il ne peut y remédier que si, nanti d'une concession déclarée d'utilité publique, il oppose au propriétaire du terrain traversé, les droits qui résultent pour lui de l'article 12 de la loi de 1906, droit d'occuper avec des ouvrages la propriété privée, à titre de servitude, droit qui comprend formellement en vertu du texte même de la loi celui d'élaguer les arbres croissant sur la propriété occupée. Quant aux arbres situés chez les voisins, la reconnaissance d'utilité publique lui permet, par voie d'expropriation, d'obtenir l'acquisition des arbres qui gênent la circulation du courant.

b) *Au regard des voies publiques.* — Si ce même entrepreneur se trouve au contraire, en face de l'administration, il y a lieu de distinguer suivant que son entreprise se développe librement ou sous la forme d'une simple autorisation ou d'une permission de voirie, ou si elle constitue une entreprise établie sous la forme d'une concession simple ou d'une concession d'utilité publique.

Dans le premier cas, l'entrepreneur n'a pas plus de droit que le propriétaire riverain. Il ne peut, en aucun cas, exiger l'abatage des arbres empiétant sur la voie publique, ni leur élagage. Il peut seulement couper les racines qui excroissent au-dessous de ses canalisations. A lui donc, au moment de l'établissement du tracé de ses ouvrages, à prévoir la difficulté.

Dans le second cas, celui d'une concession simple ou d'utilité publique, l'entrepreneur apparaît au contraire, comme délégué de l'administration à l'effet d'accomplir un service public et dès lors d'installer les ouvrages publics nécessaires à cet effet. Il agit, dans ce cas, au nom et pour le compte de l'administration, et il jouit dès lors des mêmes prérogatives que l'administration elle-même. C'est ce qu'exprime l'article 10 de la loi du 25 juin 1906 : « La concession confère à l'entrepreneur le droit d'exécuter sur la voie publique tous travaux nécessaires. »

De ce texte, on doit tirer une double conséquence.

1° Le droit pour cet entrepreneur de couper et d'ébrancher les arbres situés sur la voie publique.

Toutefois, une lettre du ministre des Travaux publics du 9 avril 1920 au Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique rappelle que les arbres constituent un agrément pour l'ensemble des usagers de la route, auxquels la voie publique est plus spécialement affectée, et que les entreprises administratives de distribution qui occupent ces mêmes voies en vertu d'autorisation administrative ne doivent point oublier le caractère exceptionnel de ces autorisations.

Une circulaire ministérielle du 24 septembre 1911, décide d'autre part que l'abatage d'arbres sur les routes nationales ne peut être pratiqué qu'à titre exceptionnel et après décision du ministre des Travaux publics.

2° Le droit pour l'entrepreneur concessionnaire d'exiger des propriétaires riverains de la voie l'observation des règles de la distance, le droit de supprimer toute atteinte ou tout empiétement provenant des plantations riveraines. Certaines circulaires renforcent même cette prérogative tirée des règles du droit commun administratif.

Une circulaire ministérielle du 20 janvier 1925, prescrit que, lorsqu'un chemin vicinal ou une section de ce chemin sera emprunté par une ligne de transmission ou de distribution d'énergie électrique régulièrement autorisée, aucune plantation d'arbres ne pourra être effectuée sur les terrains en bordure de ce chemin ou de cette section qu'en observant la distance ci-après qui sera mesurée à partir des limites de la voie savoir : 3 m pour les plantations de 7 m de plus de hauteur, cette hauteur étant augmentée d'un mètre par chaque mètre de distance au delà des 3 m jusqu'à 10 m. Toutefois, des dérogations pourront être accordées par l'autorité compétente eu égard à la situation des lieux et à la protection des lignes électriques.

Une circulaire du 9 août 1928 applique à l'abatage des arbres opéré par les particuliers eux-mêmes, les dispositions prescrites pour la construction ou réparation des bâtiments du voisinage des lignes électriques.

Avant de procéder à l'abatage d'arbres, dont la distance d'une ligne électrique n'est pas au moins égale à leur hauteur augmentée de 3 m, le propriétaire devra aviser le maire de la commune cinq jours avant le début des travaux. Celui-ci devra accuser réception au propriétaire dans le délai de deux jours et dans le même délai informer le représentant de l'exploitation de la ligne électrique avec lequel il devra se mettre en rapport sur les mesures à prendre en vue de la sécurité des personnes.

Il préviendra dans le même délai, le concessionnaire permissionnaire ou régisseur du réseau.

L'entrepreneur substitué aux droits du propriétaire est responsable en sa qualité de propriétaire des plantations, comme d'ailleurs le propriétaire voisin est responsable vis-à-vis de lui des dégâts qui seraient occasionnés aux lignes électriques par la chute d'un arbre, quelle que soit d'ailleurs sa distance (Cour de Bordeaux, 1er avril 1919).

L'entrepreneur substitué aux droits de l'administration a les mêmes obligations et responsabilités en ce qui concerne les conséquences des abatages ou élagages auquel il pourrait procéder.

Il y a lieu dans les deux cas de se référer aux explications qui ont été données plus haut sur la recherche et la preuve des responsabilités.

Il en serait de même dans la rigueur des principes, si la chute naturelle d'un arbre situé sur la voie publique, son abatage ou son élagage venait à apporter un trouble aux lignes établies. Ce recours serait en pratique quelque peu difficile étant donné les relations de cordialité nécessaires entre l'entrepreneur et l'administration. Cette action pourrait cependant être soutenue avec succès.

2. Règles spéciales aux entreprises de distribution. Les arrêtés d'élagage. — En dehors des cas d'élagage ou abatage résultant de l'inobservation des distances ou des règles plus ou moins observées du voisinage, il existe une réglementation spéciale aux élagages au regard des lignes électriques, règlement édicté en vue de la sécurité des personnes et du bon fonctionnement des ouvrages affectés en somme à des services publics (loi du 25 juin 1906).

1° *Droit d'élagage.* — En vertu de l'article 39 du décret du 30 juillet 1921 et du décret ministériel du 17 janvier 1923, l'entrepreneur est tenu d'effectuer aussi souvent que la sécurité de la distribution l'exige, l'élagage des arbres plantés en *bordure des voies publiques*, que ceux-ci soient sur le sol de ces voies ou qu'ils débordent simplement sur ces voies. Des arrêtés préfectoraux ont été pris le 1er septembre 1909 à la suite de la circulaire ministérielle de la même date pour réglementer cet élagage.

Dans le cas où cet arrêté n'aurait pas été pris dans un département, l'entrepreneur aurait un recours au Conseil d'Etat contre le refus ou le silence gardé par le préfet, après sa réclamation.

L'entrepreneur doit, en vertu de cet arrêté, procéder lui-même à cet élagage, soit qu'il en soit requis par le service de contrôle, soit qu'il juge personnellement la sécurité compromise.

Il devra le faire en se conformant aux instructions du service de voirie intéressé et aux règles générales indiquées plus loin.

L'entrepreneur est comme substitué à l'administration dans le droit que celle-ci possède sur la voie publique, en vertu des règlements généraux qui, pour chaque nature de voie, prescrivent les mesures à prendre pour assurer la viabilité de celles-ci et notamment l'élagage.

Les arrêtés d'élagage et les obligations qui en découlent, s'imposent à tous les entrepreneurs, aux simples permissionnaires, aussi bien qu'aux concessionnaires. C'est en effet une mesure prise dans un but de sécurité et de viabilité publique. Et si l'entrepreneur en bénéficie au point de vue du bon fonctionnement des ouvrages, il n'est pas moins vrai qu'il apparaît comme assujetti à cette prescription de police dans un intérêt général.

Le texte de l'arrêté est d'ailleurs formel. Il s'adresse aux entreprises de distribution.

2° *Formalités de l'élagage.* — Dans la pratique de ces élagages, il importe de distinguer suivant que l'entrepreneur se trouve en présence d'arbres plantés sur la voie publique, d'arbres plantés sur la propriété privée, mais débordant sur la voie publique ou enfin d'arbres situés entièrement sur une propriété privée.

Premier cas. — Arbres appartenant entièrement à une voie publique. — Avant de procéder à leur élagage, l'entrepreneur doit en donner avis au moins huit jours à l'avance au service du contrôle et aux services de voirie intéressées. Il est très rare que les services publics s'opposent à l'élagage, si vraiment la sécurité publique l'exige; ils pourront seulement demander à y assister ou donner des instructions pour la bonne exécution de ces travaux. Si, du reste, le service de voirie mettait opposition à l'élagage, l'exécution de celui-ci pourrait être ordonné par l'ingénieur en chef du contrôle sur la demande de l'entrepreneur. Il est à remarquer que l'entrepreneur n'a pas à demander l'autorisation d'élagage; il a simplement à informer les services intéressés de l'obligation dans laquelle il se trouve d'y procéder. Les dépouilles des arbres élagués doivent être laissées à la disposition de l'administration.

Deuxième cas. — Arbres plantés sur une propriété privée mais surplombant sur la voie publique. — L'entrepreneur devra se conformer aux mêmes règles que dans le cas précédent; il devra, en outre, donner avis huit jours avant le commencement des travaux au propriétaire intéressé. Celui-ci (article 3, arrêté préfectoral d'élagage du 1er septembre 1909) est tenu d'en permettre l'exécution et même de la faciliter. Il peut se faire cependant qu'un propriétaire refuse formellement de laisser procéder à l'élagage; l'entrepreneur pourra, dans ce cas, recourir à l'intervention de l'ingénieur en chef du contrôle qui usera des moyens de coercition

mis à la disposition de l'administration. Mais, bien entendu, son intervention ne sera justifiée que si l'entrepreneur est en règle avec l'administration au point de vue de l'occupation des voies publiques (Tribunal civil de Grenoble, 26 juin 1926).

L'entrepreneur pour l'exécution des élagages ne doit pas pénétrer dans la propriété privée, à moins toutefois que le propriétaire l'y autorise.

Il reste responsable de tous les dommages matériels qui pourraient être causés par l'exécution de son travail ; mais il ne doit aucune indemnité pour l'élagage lui-même puisque celui-ci est le résultat d'une servitude légale imposée aux riverains sans indemnité.

Malgré l'observation par l'entrepreneur des règles ci-dessus et qui confirment son droit à l'élagage, celui-ci peut se trouver en présence du mauvais vouloir du propriétaire, ce qui l'oblige à soutenir des procès. Un moyen efficace de supprimer cette difficulté est de demander à l'administration de prendre un arrêté d'élagage. Celui qui y déroge devient de ce chef passible des peines de l'article 471 du Code pénal (arrêt de la Cour de Cassation du 1er juillet 1927).

Il est à remarquer que ces considérations ne s'appliquent qu'aux plantations surplombant effectivement la voie publique : celles qui ne dépassent qu'accidentellement la ligne divisoire, tel un peuplier ou un cyprès que le vent incline sur les canalisations ne peuvent faire l'objet d'un élagage quelconque.

Troisième cas. — Arbres entièrement sur propriétés privées. — Nous rentrons ici dans le domaine du droit commun et l'entrepreneur ne pourra rien faire sans s'être entendu préalablement avec le propriétaire et sans régler à celui-ci l'indemnité et pour le dommage occasionné par l'exécution et pour celui résultant de l'élagage lui-même.

Si le propriétaire refuse de laisser exécuter l'élagage, l'entrepreneur pourra diriger son entreprise d'après la distinction des espèces de la manière suivante :

a) L'entrepreneur possède une autorisation régulière du propriétaire pour le passage de sa ligne : dans cette hypothèse l'autorisation implique nécessairement le droit à l'élagage, si celui-ci est indispensable à la libre circulation du courant (article 696, Code civil). Au cas de litige son action sera portée devant le juge de paix en vertu de l'article 7 de la loi du 12 juillet 1905.

b) L'entrepreneur jouit d'une concession pour cause d'utilité publique. Il jouit dans ce cas des droits analogues à ceux de la cession volontaire.

L'entrepreneur pourra donc assigner le propriétaire devant le juge de paix en vertu des règles de compétence établies par l'article 6 de la loi du 12 juillet 1905, renforcée de celles édictées par l'article 12 de la loi du 25 juin 1906.

c) L'entrepreneur n'a pas l'autorisation du propriétaire ni le caractère d'utilité publique qui lui permet d'y suppléer. Il ne peut procéder à aucun élagage.

Nous avons supposé que la ligne électrique passe sur la propriété dont fait partie l'arbre objet du litige. Mais il peut se faire qu'il s'agisse d'un arbre planté sur un terrain contigu à celui où se trouve la ligne. L'entrepreneur mis aux lieu et place du propriétaire qui lui a donné l'autorisation pourra assigner en cette qualité le propriétaire voisin, soit pour l'obliger à observer pour sa plantation la distance légale, soit pour l'obliger à élaguer à l'aplomb de la ligne séparative. C'est l'application des règles du droit commun que nous avons résumées au début de cette étude. Il ne pourra rien exiger, au contraire, s'il ne jouit d'aucune autorisation sur la propriété occupée par ses lignes.

III. **Questions diverses**. — 1° *En cas d'urgence*, l'entrepreneur peut procéder à l'élagage immédiat, mais il devra en aviser les intéressés en même temps.

2° *Les produits d'élagage* restent à la disposition des propriétaires qui sont tenus de les enlever dans le délai de 48 heures s'ils sont sur la voie publique. Si ce sont des arbres plantés sur la voie publique, l'entrepreneur devra seulement les ranger conformément aux indications des services de la voirie qui prendront à leur charge leur enlèvement.

3° L'article 35 du décret du 21 mars 1911 prescrit aux entrepreneurs de prendre toutes *dispositions techniques* nécessaires pour faire exécuter les élagages sans danger : le courant ne devra donc pas être sur les lignes à haute tension pendant l'opération et toutes les dispositions de protection et d'isolement nécessaires seront prises.

Une circulaire ministérielle du 5 mai 1929 recommande de procéder dans ces élagages avec modération et de respecter autant que possible la vie des arbres. Elle rappelle qu'il y a lieu de distinguer l'abatage et l'élagage et que l'abus commis expose son auteur aux pénalités de l'article 445 du Code pénal. Elle rappelle enfin, que les dispositions des arrêtés d'élagage ne s'appliquent point à la propriété privée, mais seulement aux voies publiques. On se reportera à ce sujet à la circulaire ministérielle du 9 mai 1923, 17 janvier 1923.

A. Remaury,
Avocat à la Cour d'Appel, professeur à l'Institut électrotechnique de l'Université de Toulouse.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt du Conseil d'Etat relatif aux charges extracontractuelles nées de la guerre.

Cet arrêt, en date du 18 octobre 1929, réforme sur un point un arrêté du Conseil de Préfecture d'Indre-et-Loire du 20 avril 1922 concernant un différend entre la Compagnie des Tramways de Tours et la Ville de Tours.

D'après cet arrêt, la stabilisation économique consécutive à la guerre ne saurait avoir pour conséquence nécessaire de dispenser le concessionnaire de participer aux charges

extracontractuelles, mais elle peut être retenue comme élément d'appréciation par le juge pour la répartition de ces charges.

Voici un extrait de cet arrêt.

Le Conseil d'Etat, vu la loi du 28 pluviôse, an VIII, vu la loi du 24 mai 1872,...

Considérant que l'expertise a notamment pour objet, après qu'il a été procédé à l'évaluation des conséquences onéreuses résultant pour le concessionnaire des conditions extracontractuelles dans lesquelles il a dû assurer son service, de donner au juge les éléments nécessaires pour lui permettre d'arbitrer, en tenant compte de toutes les circonstances de l'affaire, la part de ces conséquences onéreuses que l'interprétation raisonnable du contrat permet de laisser à la charge du concessionnaire; que si celui-ci n'est pas fondé à invoquer la stabilisation de la situation économique consécutive à la guerre pour soutenir qu'il doit être nécessairement dispensé de toute participation aux nouvelles charges, cette stabilisation peut néanmoins être retenue par le juge comme un élément d'appréciation en vue de la répartition desdites charges; que, par suite, la Compagnie des Tramways de Tours est fondée à soutenir que c'est à tort que le Conseil de Préfecture n'a pas, conformément à ses conclusions, donné aux experts mission de rechercher si, et dans quelle mesure, les perspectives d'avenir peuvent se trouver modifiées par le prolongement du bouleversement économique résultant de la guerre :

Article premier. — En outre de la mission qui leur a été confiée par le Conseil de Préfecture, les experts devront évaluer la charge extracontractuelle, en tenant compte de tous les facteurs du prix de revient, y compris la houille, les huiles, les matières premières et les objets fabriqués.

Art. 2. — Pour la répartition de la charge extracontractuelle, les experts auront à rechercher si, et dans quelle mesure, les perspectives d'avenir se trouvent modifiées par le prolongement du bouleversement économique résultant de la guerre;

Art. 3. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture du département d'Indre-et-Loire, en date du 20 avril 1922, est réformé en ce qu'il a de contraire à la présente décision;

Art. 4. — Les dépens sont mis à la charge de la Ville de Tours.

Décret abrogeant et remplaçant le décret du 19 février 1927 relatif à la déclaration obligatoire des maladies d'origine professionnelle par application de l'article 12 de la loi du 25 octobre 1919 en vue de l'extension éventuelle de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail.

Voici le texte de ce décret, daté du 16 novembre 1929 et publié au « Journal officiel » du 20 novembre, page 12 588.

Article premier. — Les cas de maladies d'origine professionnelle que les docteurs en médecine ou officiers de santé doivent déclarer aux termes de l'article 12 de la loi du 25 octobre 1919, en vue de l'extension éventuelle de la législation sur les accidents du travail à ces maladies, sont les suivants :

1° Toutes les maladies ayant un caractère professionnel causées :

a) Par le plomb et ses composés;

b) Par le mercure et ses composés;

c) Par les hydrocarbures et leurs dérivés chlorés et nitrés, notamment le benzène, le tétrachloréthane, le tétrachlorure de carbone, l'éthylène perchloré, l'éthylène trichloré, l'éthylène dichloré, le chloroforme, l'éthane pentachloré, les nitro-benzènes;

d) Par l'aniline et ses dérivés;

e) Par le sulfure de carbone;

f) Par les vapeurs nitreuses, le chlore et autres gaz chlorés, le brôme, l'acide fluorhydrique, le gaz sulfureux, l'hydrogène sulfuré et le sulfhydrate d'ammoniaque, l'acide cyanhydrique, l'acide picrique, l'oxyde de carbone, l'oxychlorure de carbone (gaz phosgène), les formaldéhydes;

g) Par le phosphore blanc et l'hydrogène phosphoré;

h) Par l'hydrogène arsénié et autres composés de l'arsenic;

i) Par l'action des brais, goudrons, huiles minérales, bitume, ciments, chaux et autres produits caustiques;

j) Par l'action de l'acide chromique et des chromates alcalins;

k) Par l'action des rayons X et des substances radioactives;

2° Les cas :

a) De cancers ayant un caractère professionnel, autres que ceux déclarés du chef d'une des causes susénoncées;

b) D'ankylostomiase;

c) D'affections pulmonaires déterminées par l'absorption de poussières siliceuses, calcaires ou argileuses:

d) D'affections pulmonaires déterminées par l'absorption de poussières de charbon;

e) D'affections oculaires causées par les sources industrielles intensives de chaleur ou de lumière.

Art. 2. — Le décret du 19 février 1927 est abrogé.

Art. 3. — Le ministre du Travail, de l'Hygiène, de l'Assistance et de la Prévoyance sociales est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au « Journal officiel ».

Fait à Paris, le 16 novembre 1929.

Sur l'application de la taxe sur le chiffre d'affaires à la totalité du versement de l'acheteur.

Le « Journal officiel » du 30 octobre 1929 publie, page 1057 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9575. — M. Brager de La Ville-Moysan, sénateur, demande à M. le ministre des Finances pour quelle raison le montant des timbres des effets de commerce facturés par un commerçant à son client est, selon les termes de plusieurs de ses réponses écrites, passible de la taxe sur le chiffre d'affaires, alors que les affaires portant sur la vente des produits monopolisés sont exonérées de ladite taxe par le 2° de l'article 2 du décret de codification du 28 décembre 1926. (Question du 16 août 1929.)

Réponse. — La taxe sur le chiffre d'affaires est due sur la totalité des sommes que l'acheteur doit verser au vendeur, sans qu'il y ait à distinguer entre les divers éléments du prix.

Dans ces conditions, les timbres des effets de commerce doivent, même lorsqu'ils sont facturés à part, être considérés comme constituant un des éléments du montant des opérations à l'occasion desquelles ces effets sont tirés et, par suite, retenus pour la liquidation de la taxe du chiffre d'affaires applicable à ces opérations.

Sur les conditions imposées pour l'octroi de subventions en vue de la construction de lignes électriques destinées à alimenter des écarts ruraux.

Le « Journal officiel » du 8 novembre 1929 publie, page 1065 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9597. — M. Donon, sénateur, demande à M. le ministre de l'Agriculture les raisons qui l'ont amené à prendre un arrêté attribuant, pour l'électrification des écarts ruraux, des subventions calculées sur la base de 50 pour 100 du montant des dépenses, aux seuls réseaux dont la consom-

mation annuelle atteint 20 kilowatts-heures par tête d'habitant et qui, de ce fait, se trouvent dans une situation florissante, alors que le Parlement a entendu consacrer les crédits à favoriser l'équipement, forcément onéreux, des écarts situés dans les régions à faible densité de population et à consommation restreinte. (Question du 2 octobre 1929.)

Réponse. — Le chiffre de 20 kilowatts-heures de consommation annuelle par habitant correspond à un minimum au-dessous duquel on ne saurait descendre sans s'exposer à des mécomptes fort sérieux dans l'exploitation du futur réseau.

Rien ne sert, en effet, de construire un réseau de distribution si les recettes à en attendre ne couvrent pas son entretien et ses frais d'exploitation mis par le contrat même de concession à la charge du concessionnaire. Dans ce cas, en effet, ou bien ce dernier serait défaillant au bout de peu de temps, ou bien il serait amené à demander un relèvement des tarifs de vente du courant tel que les nouveaux tarifs deviendraient prohibitifs; dans les deux hypothèses, le réseau, construit à grands frais, ne trouverait pas son utilisation. Il convient avant tout, dans cette question de l'électrification des écarts, de ne passer à la réalisation qu'autant qu'on est assuré par des statistiques de quelques années que l'affaire nouvelle est viable et donnera dès ses débuts des résultats sinon nettement bénéficiaires, du moins suffisants pour couvrir les dépenses d'entretien et d'exploitation. Il ne faut donc agir qu'avec la plus grande prudence et progressivement ; c'est d'ailleurs la règle que s'est imposée l'Etat dans l'intérêt même des futurs usagers.

Sur la propriété des arbres plantés sur les talus ou les fossés des routes départementales ou communales.

Le « Journal officiel » du 29 novembre 1929 publie, page 1 201 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

8 734. — M. Carrère, sénateur, demande à M. le ministre des Travaux publics si les arbres se trouvant sur un talus ou le fossé d'une route départementale ou communale, plantés et élevés par un propriétaire, appartiennent à celui-ci ou à la collectivité publique. (Question du 14 avril 1928.)

Réponse. — Il a été répondu directement à M. le sénateur Carrère par M. le ministre des Travaux publics au sujet de la propriété des arbres plantés par les riverains sur les talus du fossé des routes nationales ou départementales.

En ce qui concerne les chemins vicinaux, les arbres plantés par les riverains avant la loi du 21 mai 1836 sont présumés, sauf preuve contraire, leur appartenir (circ. 3 février 1868 Rambault, D. P. 68. 1. 121 et sur renvoi Amiens, 26 juillet 1872, D. P. 72. 2. 201). Toutefois le propriétaire de ces arbres ne peut les élaguer ni, à plus forte raison, les abattre sans l'autorisation de l'administration (C. d'Et., 10 avril 1908. Rouvayro, Rec. Leb., p. 447). Les arbres plantés sur les chemins peuvent faire l'objet d'une action possessoire (Cass., 8 novembre 1880, Vassel, D. P. 81. 1. 28 et sont susceptibles d'être acquis par prescription (Circ. 21 novembre 1877, Bugnes, D. P. 78. 1. 301). Les contestations relatives à la propriété de ces arbres sont de la compétence des tribunaux judiciaires (Cass., 15 septembre 1831 Dys, Circ. 18 mai 1858. D. P. 58. 1. 218, 1er décembre 1874, D. P. 75, 1. 323). D'autre part, le règlement général du 6 décembre 1870 interdit toutes nouvelles plantations par les particuliers sur le sol des chemins vicinaux, mais les anciennes plantations peuvent être conservées. Toutefois si l'intérêt de la viabilité exigeait leur destruction, les propriétaires seraient mis en demeure, par un arrêté du maire pour les chemins vicinaux ordinaires et du préfet pour les chemins vicinaux de grande communication et d'intérêt commun, d'enlever dans un délai déterminé les arbres leur appartenant, sauf à ceux-ci à faire valoir les droits qu'ils croiraient avoir à une indemnité.

Sur les droits que possèdent les commissaires aux comptes des sociétés anonymes en vue de la vérification de ces comptes.

Le « Journal officiel » du 20 décembre 1929 publie, page 4 504 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

6 110. — M. Neyret demande à M. le ministre du Commerce si un commissaire aux comptes dans une société anonyme peut faire la centralisation mensuelle des livres comptables, tenus par un comptable à poste fixe, ce qui lui permet de suivre en détail, et d'une façon permanente, toutes les opérations de la société, pour lesquelles il doit des explications aux actionnaires dont il représente les intérêts; en un mot, si ce rôle de vérificateur permanent est incompatible avec la mission que l'assemblée générale lui a confiée. (Question du 15 novembre 1929.)

Réponse. — Aux termes de l'article 33 de la loi du 24 juillet 1867 sur les sociétés, les commissaires n'ont le droit de prendre communication des livres et d'examiner les opérations de la société que pendant le trimestre qui précède l'époque fixée par les statuts pour la réunion de l'assemblée générale. L'article 34 ajoute que les commissaires peuvent se faire délivrer chaque semestre un état sommaire de la situation active et passive de la société. Sous réserve des décisions des tribunaux, seuls qualifiés pour apprécier les espèces qui leur sont soumises, il convient d'indiquer que le pouvoir de vérifier cet état de situation est, selon la doctrine généralement admise, refusé aux commissaires; le droit de la vérification de la comptabilité ne pouvant s'exercer que dans les trois mois précédant l'assemblée générale. Cependant, si les statuts ne peuvent valablement restreindre les pouvoirs conférés par la loi aux commissaires, ils ont la faculté de les étendre et de donner aux commissaires un pouvoir permanent de vérification qui n'a rien d'incompatible avec leur mission, et, pour répondre à la question de l'honorable député, il semble bien que les statuts pourraient valablement charger les commissaires de faire la centralisation mensuelle des livres comptables. Si les statuts ne leur donnent pas cette mission, une assemblée générale extraordinaire, convoquée et délibérant conformément à l'article 31 de la loi du 24 juillet 1867, aurait tout pouvoir de les modifier en ce sens.

Sur la situation des caisses de secours mutuels au point de vue des assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 30 décembre 1929 publie, page 4 867 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

6 420. — M. Duval-Arnould demande à M. le ministre du Travail si une société de secours mutuels qui, avant l'application des assurances sociales, aura donné son adhésion à la caisse primaire-répartition du groupement mutualiste dont elle fait partie, aura la latitude, après la mise en vigueur de la loi, de se faire habiliter elle-même comme caisse primaire, en se retirant de celle à laquelle elle avait préalablement adhéré, soit que le fonctionnement de celle-ci laisse à désirer, soit pour toute autre raison. (Question du 2 décembre 1929.)

Réponse. — L'article 35 de la loi du 5 avril 1928 sur les assurances sociales prévoit que l'adhésion d'un assuré à une caisse primaire d'assurances est valable pour deux ans, sauf le cas où il change de lieu de travail. Dans ces conditions, après la mise en vigueur de la loi, les membres participants d'une société de secours mutuels inscrits à une caisse primaire d'assurances ne pourront changer de caisse qu'après l'accomplissement de la période de deux ans susvisée.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 4. — 25 JANVIER 1930.

Chronique. — Nécrologie : A. Remaury, p. 121. — Bibliographie : Guide de l'amateur radiophoniste, par Jean DEFONTAINE, p. 122; Eclairage électrique des rues (Electric street lighting), p. 122; Agenda Dunod 1930 (Construction mécanique), par J. IZART, p. 122.

Section scientifique et technique. — Expression du couple électromagnétique des alternateurs et moteurs synchrones, dans l'état variable, par F. MARGAND, p. 123. — Evaluation de la charge maximum d'un réseau électrique, par S. PROKOROFF, p. 126. — Les symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique, p. 128. — Revues, analyses et informations : Photoionisation de quelques vapeurs de métaux alcalins, p. 140; La photoionisation dans les liquides et les cristaux; relations entre la fréquence des arêtes d'absorption pour les rayons X et la constitution chimique, p. 142.

Section industrielle. — Nouvelles dispositions des inducteurs des machines synchrones, par A. HEYLAND, p. 143. — Revues, analyses et informations : Electrification d'une importante mine d'or aux Etats-Unis, p. 147; Transmission simultanée de courants triphasé et monophasé par superposition de ces courants sur lignes communes (exploitation sous double fréquence), p. 150; Le câble SO, p. 151; Une analyse critique des installations des services auxiliaires des usines génératrices à vapeur, p. 151.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société générale d'Entreprises, p. 153; Société générale de Force et Lumière, p. 153.

Section de législation. — Traité de concession intervenu entre la loi du 15 juin 1906 et le premier type du cahier des charges. Approbation préfectorale postérieure au 17 mai 1908. (Arrêt du Conseil d'Etat du 29 novembre 1929), par Paul BOUGAULT, p. 155. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur la possibilité qu'ont les maires des communes devant être traversées par une ligne de transmission d'énergie de prendre connaissance du projet d'exécution, p. 159; Sur les règlements concernant l'embauchage des ouvriers étrangers en rupture de contrat de travail, p. 159; Sur l'obligation pour les entreprises de maintenir en bon état de fonctionnement les compteurs électriques pour lesquels elles perçoivent une redevance d'entretien, p. 159; Sur l'impossibilité pour un inventeur de déduire de ses revenus, en vue de ses impôts, les dépenses qu'il a effectuées pour réaliser son invention, p. 160; Sur l'application de la législation des assurances sociales aux ouvriers et employés détachés en Alsace et en Lorraine, p. 160; Sur le taux de l'amortissement des maisons ouvrières construites par les patrons admis au point de vue fiscal, p. 160.

Nécrologie : A. Remaury. — Nous apprenons le décès de M. Augustin Remaury, avocat à la Cour d'Appel de Toulouse, qui collaborait à la rédaction de notre Section de Législation depuis 1921 et qui, peu avant cette mort prématurée et inattendue, nous adressait l'article relatif à la législation des plantations d'arbres au voisinage des lignes électriques publié dans notre dernier numéro. S'étant spécialisé depuis longtemps déjà dans les questions concernant l'industrie électrique, il s'était acquis une place importante dans la région toulousaine ainsi qu'en témoigne la notice suivante que nous adresse un de nos lecteurs de cette région.

Avocat-conseil de la plupart des sociétés hydroélectriques du Sud-Ouest dès leur fondation, M. Remaury tint à faire profiter de son expérience toutes les sociétés françaises; c'est dans cette intention qu'il écrivait fréquemment dans les diverses revues électrotechniques.

Tout récemment, la Commission de refonte d'un de nos grands répertoires juridiques français avait fait appel à sa science éclairée pour la rédaction des mots « Houille blanche » et « Electricité » dont un tirage à part permit de donner à ces ouvrages toute l'extension qu'ils méritaient par leur présentation méthodique et synthétique de toutes les questions intéressant ces deux industries.

Il faut aussi rappeler le premier ouvrage de M. Remaury « Canalisations d'éclairage » qui sut, au lendemain de la loi du 15 juin 1906, mettre au point le fameux conflit des gaziers et des électriciens, et préciser, par une étude approfondie de la jurisprudence, la situation administrative des permissionnaires et des concessionnaires d'énergie électrique.

L'Institut électrotechnique de Toulouse profitait depuis près de vingt ans de ses leçons. « L'enseignement de M. Remaury, qui fut un maître pour toutes les questions concernant le droit industriel, si complexe, eut dès le début un très grand succès; ses élèves avaient en lui la plus grande confiance, et le consultaient souvent après leur sortie de l'école ».

M. Remaury prodiguait à tous ses conseils avec une

bonté sans mesure, une impartialité et une indépendance empreintes du plus parfait désintéressement, une intelligence d'une rapidité et d'une vivacité saisissantes. Nombreux sont d'ailleurs parmi les électriciens ceux qui purent apprécier ses hautes qualités.

Il est impossible de passer sous silence son admirable vie privée. Père d'une famille de huit enfants, tous ses loisirs étaient consacrés à une vie familiale et sociale exemplaire. Sa vie politique elle-même, si elle lui avait valu quelques adversaires n'avait pu lui susciter aucun ennemi. Aussi, pouvait-on dire sur sa tombe : « Comme homme, M. Remaury s'imposait par sa conscience impeccable et son culte du devoir. Comme avocat, il savait s'adapter à tous les genres de procès, ému et vibrant aux assises, technique dans les questions administratives, où il excellait, clair et précis et lumineux dans les discussions d'affaires ».

Notre Revue s'associe aux regrets que M. Camichel, directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse a exprimé aux obsèques de M. Remaury au nom de cet institut.

Bibliographie : Guide pratique de l'amateur radiophoniste, par Jean Depontaine (1). — Ce petit ouvrage, ainsi que l'indique son titre, constitue un guide essentiellement pratique. On n'y trouve aucune explication scientifique, mais seulement des conseils, accessibles à des amateurs de téléphonie sans fil n'ayant aucune connaissance théorique et qui leur permettront de construire le poste qui leur convient, sans aide étrangère et au meilleur compte. L'auteur commence par faire une description détaillée de la partie principale d'un poste, c'est-à-dire de l'antenne au collecteur d'ondes et de ses accessoires avec la manière de les monter. Ensuite il décrit les autres accessoires d'un poste, tels que les bobines de self-inductance, les condensateurs, les résistances, les rhéostats, les transformateurs, etc. Puis il examine les schémas-types de chaque genre de montage en faisant ressortir les avantages et les inconvénients de chacun. Il passe ensuite à la réalisation des postes en insistant sur la manière de vérifier les connexions, les précautions à prendre pour ne pas détériorer le matériel délicat comme les lampes par exemple, la mise en marche, les pannes et leurs diverses causes. Il aborde aussi la question de l'alimentation des postes récepteurs et compare les piles et les accumulateurs en donnant la préférence à ces derniers malgré la dépense élevée qu'ils occasionnent, dépense d'ailleurs notablement diminuée grâce à la recharge à domicile. Enfin, le dernier chapitre est consacré aux travaux de l'amateur ; l'auteur y passe en revue les accessoires, dont la construction est à la portée de tous. En résumé, il semble bien que le but de l'auteur qui était de faire un livre clair, simple et complet, à la portée de tous les amateurs de téléphonie sans fil, a été atteint. — I. F.

Bibliographie : Eclairage électrique des rues (Electric street lighting) (2). — L'établissement d'un système moderne d'éclairage des rues implique l'emploi d'un grand nombre de dispositifs, qui, en dépit d'une apparence assez simple, requièrent une étude approfondie afin d'en obtenir le maximum d'efficacité.

Bien que la connaissance des branches fondamentales de l'électrotechnique, c'est-à-dire la génération de l'énergie électrique, sa distribution et son utilisation, soit absolument nécessaire à l'ingénieur éclairagiste, le présent ouvrage suppose de la part du lecteur la connaissance au moins sommaire de ces sujets et fournit d'ailleurs à l'ingénieur des données d'une utilité immédiate, d'un caractère essentiellement pratique.

Appelé durant un grand nombre d'années à résoudre les problèmes d'éclairage des rues, et ceux concernant la construction et l'installation des dispositifs requis à cet effet, l'auteur était particulièrement qualifié pour exposer aux ingénieurs les principes du sujet.

Excepté dans un court abrégé historique, l'auteur ne s'est pas étendu sur la question de l'éclairage des rues par le gaz; de même, différentes branches de l'éclairagisme très particulières, comme par exemple l'éclairage des viaducs, des chemins de fer souterrains, l'éclairage par projecteurs, ne sont que brièvement étudiés.

Le livre est divisé en vingt-deux chapitres. Les dix premiers chapitres sont consacrés aux relations entre l'aspect architectural et l'éclairage des rues, à l'interprétation des colorations et au discernement des qualités des installations d'éclairage public; les dispositifs divers relatifs aux circuits d'alimentation de ces installations sont ensuite longuement étudiés.

Dans les dix chapitres suivants on trouve des renseignements sur l'étude des installations de l'éclairage des rues dans divers cas particuliers. Les effets physiologiques des radiations, la photométrie et les principes relatifs aux mesures photométriques sont ensuite envisagés et suivis de considérations détaillées sur les lampes à incandescence.

L'utilité du présent ouvrage sera appréciée tant des spécialistes obligés par leur profession à avoir constamment sous la main un guide commode, que des techniciens appelés à s'occuper accessoirement des problèmes d'éclairage des rues. — L. V.

Bibliographie : Agenda Dunod 1930 (Construction mécanique), par J. Izart (1). — Cette nouvelle édition, consacrée à la construction mécanique a été révisée avec soin ; elle s'adresse aux industriels, aux constructeurs-mécaniciens, aux ingénieurs, aux chefs d'ateliers et contremaîtres et leur apporte une documentation sérieuse, sous forme de tableaux, chiffres, formules et renseignements immédiatement utilisables à l'atelier, au bureau d'étude, chez le client.

L'auteur rappelle brièvement les principales notions de mathématiques, de mécanique et de résistance des matériaux usuels. Un chapitre est ensuite consacré aux matières premières et aux dimensions du commerce. Puis il passe à l'étude de la construction mécanique proprement dite, c'est-à-dire de l'usinage, de l'outillage, de l'assemblage. Enfin divers chapitres intéressants sont consacrés à l'étude des machines, des tuyauteries et tubes, à la transmission de l'énergie et aux appareils de levage. L'ouvrage est complété par un résumé très complet de la législation du travail. — I. F.

(1) Un volume, format 18 cm × 12 cm, de 160 pages, avec 108 figures dans le texte, de l'Encyclopédie Roret, édité par la Société française d'Editions littéraires et techniques, 12, rue Hautefeuille, à Paris (6e). Prix, broché : 12 fr.

(2) Un volume, format 23 cm × 14 cm, de 228 pages, avec 128 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman et Hall, 11, Henrietta Street, Londres W.C. 2. Prix : relié, 17 sh 6 d.

(1) Un volume, format 15 cm × 10 cm, de 520 pages, avec 140 figures dans le texte, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris (6e). Prix : relié, 17,85 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Expression du couple électromagnétique des alternateurs et moteurs synchrones, dans l'état variable

Dans une note présentée à l'Académie des Sciences (*) en avril 1928, M. Margand a donné l'expression du couple électromagnétique des machines synchrones, dans l'état variable, en fonction des courants et des flux directs et transversaux. C'est la démonstration de cette formule qui est exposée dans les lignes qui suivent; l'auteur considère d'abord le cas où l'action électromagnétique est supposée appliquée aux circuits électriques mêmes. Dans une deuxième démonstration, il étend la formule aux cas où les pièces magnétiques voisines de circuits électriques interviennent également dans les actions électromagnétiques. Ajoutons que cet article est, en quelque sorte, la suite des études de l'auteur publiées dans ces colonnes, sur les machines synchrones (**).

I. **Enoncé du problème.** — Nous avons exposé dans une note insérée dans les « Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences » (1) les bases d'une théorie générale des machines synchrones dans l'état variable, pouvant être appelée « théorie généralisée des deux réactions », et nous avons donné sans démonstration l'expression suivante du couple des actions électromagnétiques s'exerçant entre le rotor et le stator :

$$C = \frac{3}{2}(XF_t - YF_l).$$

Nous nous proposons ici de justifier cette formule (2).

II. **Première démonstration.** — Une démonstration immédiate se déduit de la formule classique du travail des forces électromagnétiques appliquées à un circuit électrique

$$d\mathfrak{T} = i\,d\Phi,$$

dans laquelle i représente le courant et $d\Phi$, la variation du flux due au déplacement, calculée en supposant invariable le champ d'induction en chaque point de l'espace.

Supposons, pour fixer les idées, l'inducteur fixe et l'induit mobile. Le travail des forces s'exerçant sur les trois phases de l'induit sera, d'après l'expression ci-dessus,

$$d\mathfrak{T} = C\,d\theta = i_1\,d\Phi_1 + i_2\,d\Phi_2 + i_3\,d\Phi_3.$$

La formule (5) de l'article précité donne

$$\Phi_1 = \sigma i_n + F_l \cos\theta_1 + F_t \sin\theta_1.$$

Les variations des flux $d\Phi$ doivent être calculées en laissant σi_n, F_l, F_t, invariables.

On a donc

$$d\Phi_1 = (F_t \cos\theta_1 - F_l \sin\theta_1)\,d\theta,$$
$$d\Phi_2 = (F_t \cos\theta_2 - F_l \sin\theta_2)\,d\theta,$$
$$d\Phi_3 = (F_t \cos\theta_3 - F_l \sin\theta_3)\,d\theta.$$

Ces expressions portées dans $d\mathfrak{T}$ donnent

$$C = F_t(i_1\cos\theta_1 + i_2\cos\theta_2 + i_3\cos\theta_3) - F_l(i_1\sin\theta_1 + i_2\sin\theta_2 + i_3\sin\theta_3).$$

Donc, d'après les définitions de X et Y qui sont

$$X = \frac{2}{3}(i_1\cos\theta_1 + i_2\cos\theta_2 + i_3\cos\theta_3),$$

$$Y = \frac{2}{3}(i_1\sin\theta_1 + i_2\sin\theta_2 + i_3\sin\theta_3),$$

il vient bien

$$C = \frac{3}{2}(XF_t - YF_l).$$

(*) F. Margand; Equations générales d'une machine synchrone hors du régime normal. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 23 avril 1928, t. CLXXXVI, p. 1100.

(**) F. Margand; Contribution à la théorie des essais en court-circuit des alternateurs. *Revue générale de l'Electricité*, 16 juin 1928, t. XXIII, p. 1021-1033. — Théorie des essais statiques des alternateurs et moteurs synchrones. *Revue générale de l'Electricité*, 14 septembre 1929, t. XXVI, p. 401-406.

(1) F. Margand. *Loc. cit.*

(2) Nous reprenons les mêmes notations et nous utilisons les mêmes formules que dans l'article précité de la *Revue générale de l'Electricité*, du 16 juin 1928. Lors de la première rédaction nous avions défini les courants X et Y sans introduire le facteur $\frac{2}{3}$, et la formule du couple ne contenait pas alors le facteur inverse $\frac{3}{2}$. Par inadvertance nous avions omis de rétablir ce facteur dans la rédaction définitive où nous avons modifié la définition de X et Y afin que les valeurs de ces grandeurs, en régime permanent normal, coïncident avec les définitions usuelles du courant direct et du courant transversal.

La validité de cette démonstration très simple peut être contestée quand les actions électromagnétiques, au lieu d'être appliquées aux circuits électriques eux-mêmes, le sont aux pièces magnétiques qui les entourent, comme c'est le cas général dans les machines à encoches. Il convient donc pour lever toute incertitude de donner une démonstration plus générale indépendante de la répartition des forces.

On peut à cet effet utiliser le principe de la conservation de l'énergie de la manière suivante.

III. **Deuxième démonstration.** — Soient P la puissance électrique recueillie aux bornes de l'induit, majorée des pertes par effet Joule dans cet induit; P_j la puissance électrique recueillie aux bornes du circuit inducteur par suite des forces électromotrices induites dans ce circuit lors de l'état variable; P_z la puissance induite dans les circuits d'amortissement parcourus par les courants z_1 et z_2, et transformée en chaleur; W l'énergie magnétique du système; $C\,d\theta$ le travail élémentaire des forces électromagnétiques.

Le principe de la conservation de l'énergie donne

$$C\frac{d\theta}{dt} + \frac{dW}{dt} + P + P_j + P_z = 0. \qquad (1)$$

La puissance électrique de l'induit, P, a pour expression

$$P = (u_1 + ri_1)\,i_1 + (u_2 + ri_2)\,i_2 + (u_3 + ri_3)\,i_3,$$

c'est-à dire

$$P = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3,$$

e_1, e_2, e_3, désignant les forces électromotrices induites dans chaque phase, qui ont pour expression

$$e_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt}, \quad e_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}, \quad e_3 = -\frac{d\Phi_3}{dt};$$

d'où

$$P = -\left[i_1\frac{d\Phi_1}{dt} + i_2\frac{d\Phi_2}{dt} + i_3\frac{d\Phi_3}{dt}\right].$$

On aura de même, en désignant par Φ_j, Φ_{z1}, Φ_{z2}, les flux dans le circuit inducteur et dans les circuits d'amortissement

$$P_j = -j_0\frac{d\Phi_j}{dt}, \quad P_z = -\left[z_1\frac{d\Phi_{z_1}}{dt} + z_1\frac{d\Phi_{z_2}}{dt}\right],$$

d'où la somme

$$P + P_j + P_z = -\left[i_1\frac{d\Phi_1}{dt} + i_2\frac{d\Phi_2}{dt} + i_3\frac{d\Phi_3}{dt} + j_0\frac{d\Phi_j}{dt} + z_1\frac{d\Phi_{z_1}}{dt} + z_2\frac{d\Phi_{z_2}}{dt}\right].$$

En portant cette valeur dans (1) et en posant

$$A = W - [i_1\Phi_1 + i_2\Phi_2 + i_3\Phi_3 + j_0\Phi_j + z_1\Phi_{z_1} + z_2\Phi_{z_2}],$$

il vient

$$C\,d\theta + \Phi_1 di_1 + \Phi_2 di_2 + \Phi_3 di_3 + \Phi_j dj_0 + \Phi_{z_1} dz_1 + \Phi_{z_2} dz_2 = -\,dA.$$

En l'absence d'hystérésis A est une fonction des courants et de la configuration géométrique du système définie par l'angle du rotor θ. Le premier membre est la différentielle totale de cette fonction, changée de signe. Donc les flux Φ_1, Φ_2, etc. et le couple C seront les dérivées partielles

$$\Phi_1 = -\frac{\partial A}{\partial i_1}, \quad \Phi_2 = -\frac{\partial A}{\partial i_2}, \quad \Phi_3 = -\frac{\partial A}{\partial i_3}, \qquad (2)$$

$$\Phi_j = -\frac{\partial A}{\partial j_0}, \quad \Phi_{z_1} = -\frac{\partial A}{\partial z_1}, \quad \Phi_{z_2} = -\frac{\partial A}{\partial z_2}, \qquad (3)$$

$$C = -\frac{\partial A}{\partial \theta}. \qquad (4)$$

Ceci établi, la fonction A peut être exprimée sous la forme

$$A = f(X, Y, i_n, j_0, z_1, z_2, \theta),$$

X, Y, i_n étant les courants direct, transversal et moyen définis en fonction de i_1, i_2, i_3 par les relations que nous rappelons

$$X = \frac{2}{3}(i_1\cos\theta_1 + i_2\cos\theta_2 + i_3\cos\theta_3),$$

$$Y = \frac{2}{3}(i_1\sin\theta_1 + i_2\sin\theta_2 + i_3\sin\theta_3),$$

$$i_n = \frac{1}{3}(i_1 + i_2 + i_3).$$

Les formules (2) et (4) s'écriront alors

$$\Phi_1 = -\left[\frac{\partial A}{\partial X}\frac{\partial X}{\partial i_1} + \frac{\partial A}{\partial Y}\frac{\partial Y}{\partial i_1} + \frac{\partial A}{\partial i_n}\frac{\partial i_n}{\partial i_1}\right],$$

$$\Phi_2 = -\left[\frac{\partial A}{\partial X}\frac{\partial X}{\partial i_2} + \frac{\partial A}{\partial Y}\frac{\partial Y}{\partial i_2} + \frac{\partial A}{\partial i_n}\frac{\partial i_n}{\partial i_2}\right],$$

$$\Phi_3 = -\left[\frac{\partial A}{\partial X}\frac{\partial X}{\partial i_3} + \frac{\partial A}{\partial Y}\frac{\partial Y}{\partial i_3} + \frac{\partial A}{\partial i_n}\frac{\partial i_n}{\partial i_3}\right],$$

$$C = -\left[\frac{\partial A}{\partial X}\frac{\partial X}{\partial \theta} + \frac{\partial A}{\partial Y}\frac{\partial Y}{\partial \theta} + \frac{\partial A}{\partial i_n}\frac{\partial i_n}{\partial \theta}\right] - \frac{\partial A}{\partial \theta}.$$

Les relations définissant X, Y, i_n donnent

$$\frac{\partial X}{\partial i_1} = \frac{2}{3}\cos\theta_1, \quad \frac{\partial Y}{\partial i_1} = \frac{2}{3}\sin\theta_1, \quad \frac{\partial X}{\partial i_2} = \frac{2}{3}\cos\theta_2,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial i_2} = \frac{2}{3}\sin\theta_2, \text{ etc.}, \quad \frac{\partial i_n}{\partial i_1} = \frac{1}{3}, \quad \frac{\partial i_n}{\partial i_2} = \frac{1}{3}, \quad \frac{\partial i_n}{\partial \theta} = 0,$$

$$\frac{\partial X}{\partial \theta} = -\frac{2}{3}[i_1\sin\theta_1 + i_2\sin\theta_2 + i_3\sin\theta_3] = -Y,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \theta} = \frac{2}{3}[i_1\cos\theta_1 + i_2\cos\theta_2 + i_3\cos\theta_3] = X.$$

En portant ces valeurs dans les relations précédentes, il vient

$$\Phi_1 = -\frac{1}{3}\frac{\partial A}{\partial i_n} - \frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial X}\cos\theta_1 - \frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial Y}\sin\theta_1,$$

$$\Phi_2 = -\frac{1}{3}\frac{\partial A}{\partial i_n} - \frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial X}\cos\theta_2 - \frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial Y}\sin\theta_2,$$

$$\Phi_3 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$C = -X\frac{\partial A}{\partial Y} + Y\frac{\partial A}{\partial X} - \frac{\partial A}{\partial \theta}.$$

L'identification de ces relations à l'expression des flux Φ_1, Φ_2, Φ_3, en fonction des flux direct et transversal F_l, F_t, déjà rappelée ci-dessus, c'est-à-dire

$$\Phi_1 = \sigma i_n + F_l\cos\theta_1 + F_t\sin\theta_1,$$

donne

$$-\frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial X} = F_l, \quad -\frac{2}{3}\frac{\partial A}{\partial Y} = F_t, \quad -\frac{1}{3}\frac{\partial A}{\partial i_n} = \sigma i_n, \quad (5)$$

et, par suite, l'expression du couple devient

$$C = \frac{3}{2}(XF_t - YF_l) - \frac{\partial A}{\partial \theta}. \quad (6)$$

D'autre part, dans la théorie exposée, on admet que les flux directs F_l, Φ_j, Φz_1, et les flux transversaux F_t, Φz_2, sont liés respectivement aux courants directs X, j, z_1, et transversaux Y, z_2, par des relations indépendantes de l'angle θ du rotor. Donc en dérivant les relations (3) et (5) on aura

$$\frac{\partial^2 A}{\partial\theta\partial X} = 0, \frac{\partial^2 A}{\partial\theta\partial Y} = 0, \frac{\partial^2 A}{\partial\theta\partial i_n} = 0, \frac{\partial^2 A}{\partial\theta\partial j} = 0, \frac{\partial^2 A}{\partial\theta\partial z_1} = 0, \text{ etc.}$$

Ces conditions expriment que $\frac{\partial A}{\partial\theta}$ est une fonction de θ seulement, indépendante des courants, d'où

$$C = \frac{3}{2}[XF_t - YF_l] - f(\theta).$$

Mais, quand les courants X et Y sont nuls, C l'est nécessairement, donc

$$f(\theta) = 0,$$

et nous aboutissons bien à la formule proposée

$$C = \frac{3}{2}(XF_t - YF_l).$$

On remarquera que cette démonstration suppose que les relations liant les flux et les courants sont indépendantes de θ, sans qu'il soit nécessaire de préciser leur forme. Il s'ensuit que, même si l'on tient compte de la saturation magnétique qui fait perdre à ces relations la forme linéaire admise dans notre premier article, la formule du couple reste valable.

IV. **Nécessité de cette démonstration.** — Certains auteurs admettent pour calculer le couple électromagnétique que la puissance $-C\frac{d\theta}{dt}$ est égale à la puissance électrique de l'induit, soit

$$-C\frac{d\theta}{dt} = P = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3.$$

Cette relation n'est pas vérifiée dans l'état variable. Pour nous en rendre compte, remplaçons dans P, e_1, e_2, e_3, et i_1, i_2, i_3, par les expressions ci-dessous

$$e_1 = -\frac{d}{dt}\left(\frac{\sigma i_n}{3} + F_l\cos\theta_1 + F_t\sin\theta_1\right),$$

$$i_1 = i_n + X\cos\theta_1 + Y\sin\theta_1,$$

$$e_2 = -\frac{d}{dt}\left(\frac{\sigma i_n}{3} + F_l\cos\theta_2 + F_t\sin\theta_2\right),$$

$$i_2 = i_n + X\cos\theta_2 + Y\sin\theta_2,$$

$$e_3 = -\frac{d}{dt}\left(\frac{\sigma i_n}{3} + F_l\cos\theta_3 + F_t\sin\theta_3\right),$$

$$i_3 = i_n + X\cos\theta_3 + Y\sin\theta_3.$$

Il vient

$$P = -\frac{3}{2}(XF_t - YF_l)\frac{d\theta}{dt} - \frac{3}{2}\left[X\frac{dF_l}{dt} + Y\frac{dF_t}{dt}\right];$$

c'est-à-dire, d'après la formule du couple démontrée,

$$-C\frac{d\theta}{dt} = P + \frac{3}{2}\left[X\frac{dF_l}{dt} + Y\frac{dF_t}{dt}\right].$$

L'égalité entre $-C\frac{d\theta}{dt}$ et P, exacte dans le cas particulier du régime permanent où

$$\frac{dF_l}{dt} = \frac{dF_t}{dt} = 0$$

ne l'est donc plus dans un état quelconque.

Remarques. — 1. En l'absence de saturation les formules (5) de notre note présentée à l'Académie des Sciences le 23 avril 1928 donnent pour expressions de l'énergie magnétique W et de la fonction A

$$W = \frac{3}{2}\left[Mj_0 X + (s+G)\frac{X^2}{2} + (s+H)\frac{Y^2}{2} + s\frac{i_n^2}{2} + m_1 X z_1 + m_2 Y z_2\right] + l\frac{j_0^2}{2} + l_1\frac{z_1^2}{2} + l_2\frac{z_2^2}{2},$$

$$A = -W,$$

2. Toutes les formules ci-dessus sont écrites dans l'hypothèse d'une machine bipolaire. Si la machine a $2p$ pôles, les angles θ, au lieu d'être les angles géométriques, représentent les angles « électriques ». Les expressions des puissances en jeu et de l'énergie électromagnétique ne sont pas changées, mais la vitesse réelle de rotation étant $\left(\frac{1}{p}\frac{d\theta}{dt}\right)$, soit p fois plus petite, l'expression du couple est multipliée par p, soit

$$C = \frac{3}{2} p\,[XF_1 - YF_1].$$

F. MARGAND,
Ingénieur civil des Mines.

Évaluation de la charge maximum d'un réseau électrique

L'auteur se propose, dans la note qui suit, d'indiquer une méthode de détermination de la charge maximum d'un réseau de distribution; cette détermination suppose connues les puissances individuelles installées dans les diverses parties du réseau, les consommations quotidiennes d'énergie, et le nombre d'époques de mises en service de chacune de ces parties. Cette question a été traitée récemment dans ces colonnes par M. L'Hermitte (*), et c'est la publication de cet article qui a suggéré à M. Prokoroff l'idée de nous faire parvenir l'exposé de la méthode qu'il propose. Nous rappellerons que M. G. Dettmar a également étudié ce problème, qui a fait l'objet de plusieurs articles publiés dans l' « Elektrotechnische Zeitschrift » (**).

I. **Exposé du problème.** — D'une façon générale, on suppose données les charges $P_1, P_2 \ldots P_n$ qui se reproduisent pendant la durée du travail T_t respectivement $S_1, S_2 \ldots S_n$ fois.

La durée de chacune d'elles, à chaque reprise est

$$\text{pour la charge } P_1,\ t_1 = u_1 \frac{T_t}{S_1},$$

$$\text{pour la charge } P_2,\ t_2 = u_2 \frac{T_t}{S_2},$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\text{pour la charge } P_n,\ t_n = u_n \frac{T_t}{S_n},$$

où $u_1, u_2 \ldots u_n$ sont les coefficients de la durée de la charge.

On cherche à déterminer la puissance pour laquelle doivent être prévus les machines, les appareils et les conducteurs pour un tel réseau.

II. **Durée probable de la coïncidence de deux charges.** — Soit τ la durée probable de cette coïncidence pour deux charges P_1 et P_2 qui se reproduisent chacune S fois pendant le temps T_t, et qui sont appliquées respectivement durant les temps t_1 et t_2, ou caractérisées par les coefficients de durée u_1 et u_2; cette durée τ est donnée par

$$\tau = u_1 u_2 \frac{T_t}{S}. \qquad (1)$$

(*) J. L'HERMITTE; Evaluation de la puissance moyenne probable dans une distribution d'énergie électrique. *Revue générale de l'Electricité*, 1er juin 1929, t. XXV, p. 835-840.

(**) G. DETTMAR; Répartition dans les usines génératrices de l'énergie fournie (facteur de diversité). *Elektrotechnische Zeitschrift*, 14, 21, 28 janvier et 18 février 1926, t. XLVII, p. 33-36, 78-82, 100-104 et 184-189; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 29 mai 1926, t. XXI, p. 872-874.

En effet, soit $t_1 < t_2$ et A, une densité constante de la probabilité que la charge P_1 (ou P_2) existe à un instant quelconque; on a

$$\int_0^{\frac{T_t}{S}} A\,dx = 1 \quad \text{et} \quad A = \frac{S}{T_t}.$$

Considérons les trois phases suivantes de la coïncidence des charges :

1° La charge P_1 s'applique plus tôt que la charge P_2 et se termine après l'application de la charge P_2;

2° La charge P_1 s'applique plus tard que la charge P_2 et se termine plus tôt que P_2;

3° La charge P_1 s'applique plus tard et se termine plus tard que la charge P_2.

Désignons par x le temps écoulé entre l'application de la charge P_2 et la fin de la charge P_1. Alors la durée de la coïncidence des charges sera (fig. 1)

pour la phase 1 : $\tau' = x$,

pour la phase 2 : $\tau'' = t_1$,

pour la phase 3 : $\tau''' = t_1 + t_2 - x$.

Le calcul des probabilités nous permet d'exprimer la durée probable de coïncidence par la forme suivante

$$\tau = A\left[\int_0^{t_1} x\,dx + \int_{t_1}^{t_2} t\,dx + \int_{t_2}^{t_1+t_2} (t_1 + t_2 - x)\,dx\right]$$

$$= t_1 t_2 A = u_1 u_2 \frac{T_t}{S};$$

nous retrouvons donc bien la formule (1)

Cas de toutes les charges. — Selon le théorème de la multiplication des probabilités, nous aurons pour la

durée de coïncidence de toutes les charges $P_1, P_2 \ldots P_n$, qui sont caractérisées respectivement par $u_1, u_2, \ldots u_n$, et

$$S = S_1 = S_2 = S_3 = \ldots = S_n,$$

l'expression

$$\tau = u_1 u_2 \ldots u_n \frac{T_t}{S}. \qquad (2)$$

Si toutes les charges sont égales et ont même

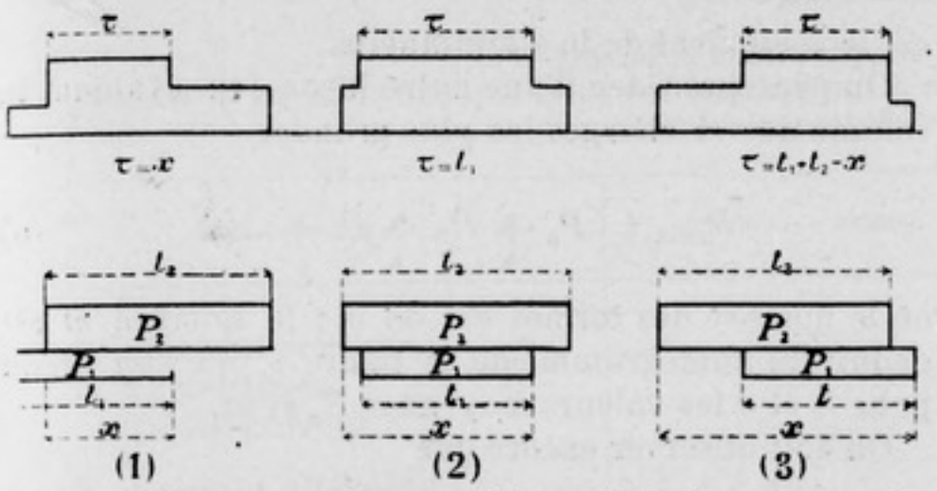


Fig. 1. — Diagrammes des coïncidences des charges P_1 et P_2. 1, $\tau' = x$; 2, $\tau'' = l_1$; $\tau''' = l_1 + l_2 - x$.

coefficient de durée u, la durée probable de coïncidence est

$$\tau_n = u^n \frac{T_t}{S}.$$

III. **Charge moyenne d'un réseau.** — Cette charge pendant la durée T_t sera

$$P_{moy} = u_1 P_1 + u_2 P_2 + \ldots + u_n P_n.$$

En effet, nous avons par définition

$$P_{moy} = \frac{\text{Énergie débitée pendant la durée } T_t}{T_t} = \frac{W_t}{T_t}$$

$$= P_1 \frac{S_1 t_1}{T_t} + P_2 \frac{S_2 t_2}{T_t} + \ldots + P_n \frac{S_n t_n}{T_t}$$

$$= u_1 P_1 + u_2 P_2 + \ldots + u_n P_n.$$

IV. **Valeurs moyennes.** — Le coefficient u_0 de la durée de la puissance d'un réseau

$$P_r = P_1 + P_2 + \ldots + P_n,$$

est

$$u_0 = \frac{W_t}{P_r T_t} = \frac{P_{moy}}{P_r}. \qquad (3)$$

Pour simplifier l'expression (2), si l'on a

$$u_1 \neq u_2 \neq \ldots \neq u_n \quad \text{et} \quad S_1 \neq S_2 \neq \ldots \neq S_n,$$

on peut admettre

$$\tau = u_0^n \frac{T_t}{S_0}$$

où

$$S_0 = \frac{S_1 + S_2 + \ldots + S_0}{n}.$$

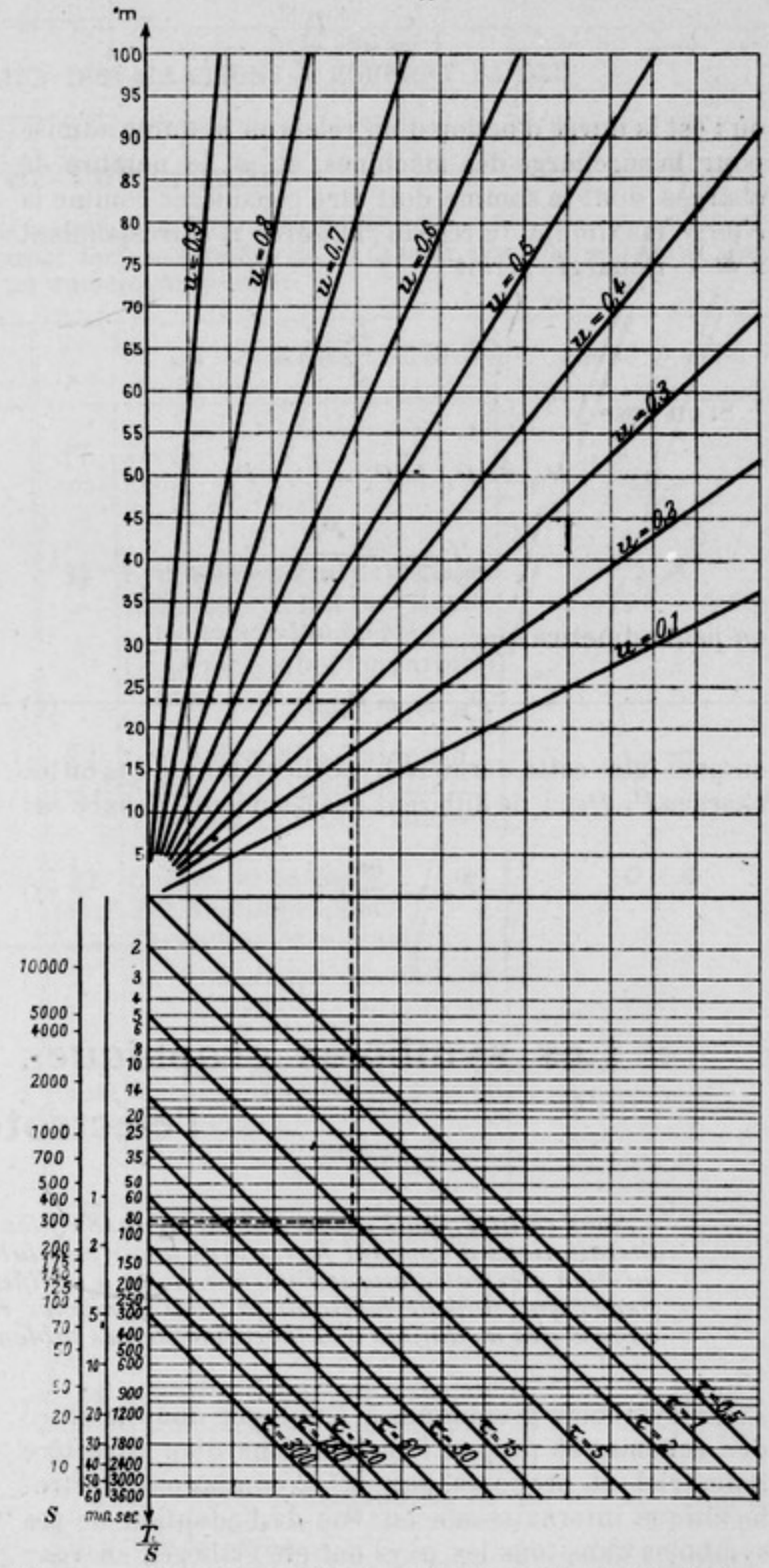


Fig. 2. — Nomogrammes permettant de calculer le facteur de simultanéité : m, nombre de charges ; T_t, durée de la période de travail (en secondes) ; Z, durée admise de la surcharge des machines (en secondes) ; S, nombre d'opérations ; u, coefficient de la durée de charge.

V. **Détermination de la puissance maximum.** — Tous les organes d'une installation électrique

doivent être calculés pour une charge dont la durée probable ne surpasse pas une limite prédéterminée.

Dans le cas des charges égales et ayant même coefficient de durée, la charge maximum sera donnée par les formules

$$\left.\begin{aligned} P_m &= mP, \\ \tau &= u^m \frac{T_t}{S}, \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

où τ est la durée d'action d'un relais ou la durée admise pour la surcharge des machines, et m, le nombre de charges dont la somme doit être considérée comme la charge maximum du réseau ; la durée τ_1 correspondant à $m+1$ charges serait

$$\tau_1 = u^{m+1} \frac{T_t}{S} < \tau.$$

Si on pose

$$P_m = P_1 + P_2 + \dots P_n,$$

$$P_{moy} = \frac{P_r}{n}, \quad (5)$$

on peut admettre que

$$P_m = mP_{moy}; \quad (6)$$

on peut faire cette dernière hypothèse dans le cas où les charges $P_1, P_2, \dots$ ne diffèrent pas beaucoup. Dans ce cas

$$P_m = \frac{m}{n} P_r. \quad (7)$$

Dans cette équation, P_r et n sont des constantes du réseau. Pour éliminer m de l'équation

$$\tau = u^m \frac{T_t}{S}$$

nous avons établi le nomogramme de la figure 2.

La grandeur

$$g = \frac{m}{n}, \quad (8)$$

est le coefficient de la simultanéité.

On peut procéder d'une autre façon, en évaluant la somme des m charges les plus grandes

$$P_{max} = P_a + P_b + P_c + \dots, \quad (9)$$

où le nombre des termes est de m ; le nombre m est déduit du nomogramme de la figure 2, où l'on prend pour S et u les valeurs moyennes S_0 et u_0.

On doit observer encore que

$$u_a u_b u_c \dots u_m > \frac{\tau S}{T_t} > u_a u_b u_c \dots u_{m+1}. \quad (10)$$

Dans l'expression (10) on doit prendre pour S la valeur maximum parmi les valeurs $S_a, S_b, S_c \dots$ qui correspondent à m ou à $m+1$ charges qu'on a considérées dans l'équation (9).

S. PROKOROFF.

Les symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique

Sous ce titre, nous avons publié en 1928 (*) les tableaux reproduisant les symboles relatifs aux installations à courant fort, après avoir préalablement exposé les motifs ayant amené la Commission electrotechnique internationale à codifier ces symboles. Nos lecteurs trouveront dans les pages qui suivent les tableaux des symboles relatifs aux courants faibles, ainsi qu'un court exposé des modalités d'élaboration de ces tableaux.

Les symboles graphiques à employer dans le tracé des schémas et projets d'installations d'un caractère industriel et proposés par la Commission électrotechnique internationale en vue de l'adoption de ces symboles dans tous les pays ont été élaborés en 1927 par les soins des divers comités. Poursuivant leurs travaux dans cette voie, les sous-comités des symboles pour la téléphonie et la télégraphie, de la Commission électrotechnique internationale et du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance, se sont réunis à Berne dans le courant du mois d'avril de 1928 dans le but d'élaborer des propositions de symboles, qui ont été adoptés officiellement par la Commission électrotechnique internationale lors de sa réunion plénière en juin 1928. D'autre part, un travail semblable a été effectué par les soins du sous-comité des symboles pour la radiotéléphonie et la radiotélégraphie lors de la réunion qu'il tint également à Berne, en septembre 1928. Ce sont ces symboles qui sont reproduits dans les tableaux faisant l'objet des pages suivantes.

(*) Les symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique. *Revue générale de l'Electricité*, 7 juillet 1928, t. XXIV, p. 11-26.

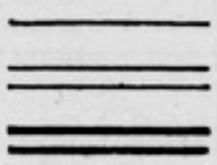
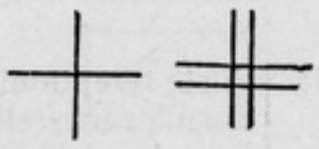
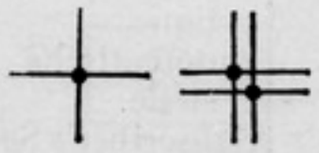
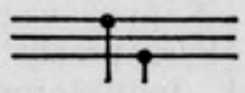
Commission electrotechnique internationale

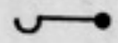
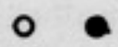
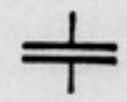
DÉCISIONS RELATIVES AUX SYMBOLES INTERNATIONAUX
(Berne 1928)

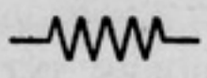
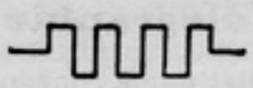
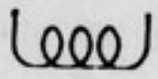
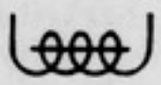
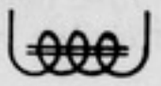
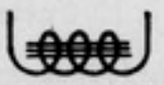
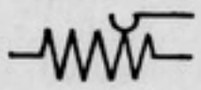
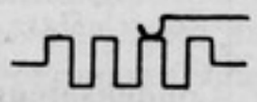
3e Partie. — SIGNES GRAPHIQUES POUR INSTALLATIONS A COURANT FAIBLE

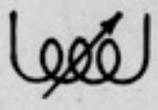
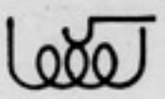
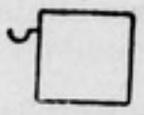
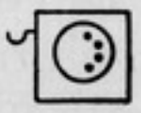
Téléphonie et Télégraphie

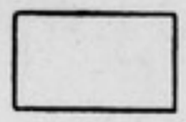
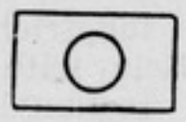
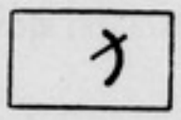
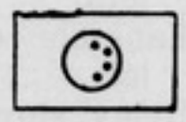
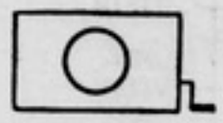
Quand le symbole pour les installations à courant faible représente la même notion que celui des installations à courant fort, le numéro de ce dernier symbole se trouve ajouté, entre parenthèses, au numéro du premier.

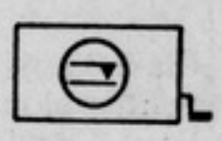
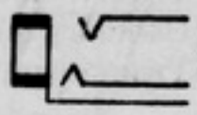
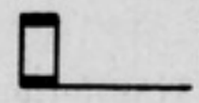
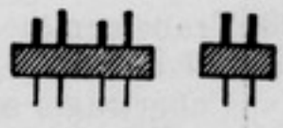
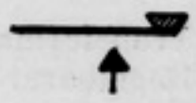
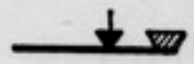
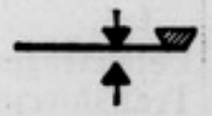
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
1 (1)	Courant continu. Gleichstrom. Direct current.	
2 (2)	Courant alternatif. Wechselstrom. Alternating current,	
11 (201)	Circuit. Leitung. Circuit. Observation : Symbole général. Les traits seront plus ou moins épais suivant l'importance des circuits.	
12	Ligne de séparation. Trennlinie. Boundary line.	
13	Isolant. Isolierung. Insulation. Exemple :	
14 (202)	Croisement de conducteurs sans connexion. Kreuzung von Leitungen ohne Verbindung. Crossing of conductors without connection.	
15 (203)	Croisement de conducteurs avec connexion. Kreuzung von Leitungen mit Verbindung. Crossing of conductor with connection.	
16 (204)	Dérivations de circuits. Abzweigungen von Leitungen. Tappings.	

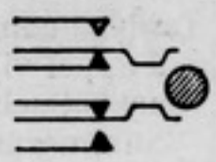
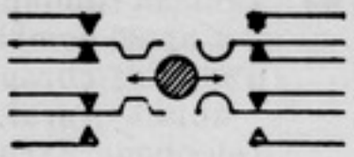
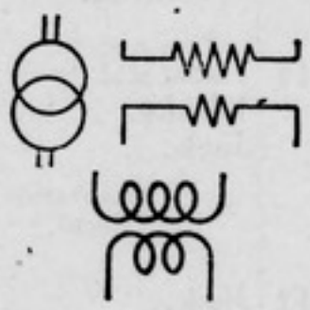
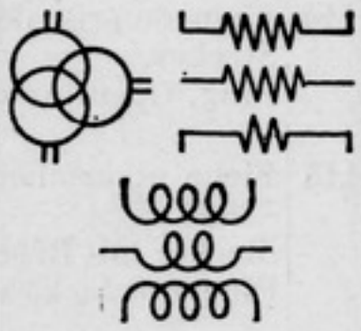
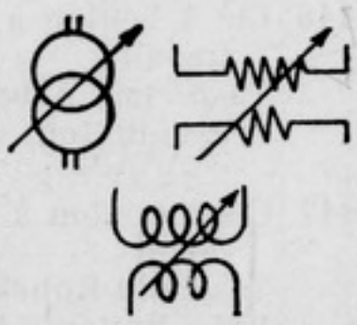
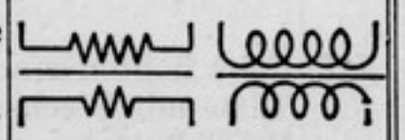
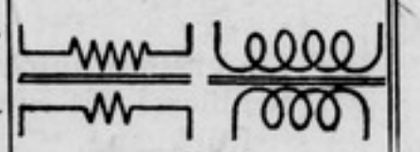
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
17 (205)	Terre. Erde. Earth.	
31	Symbole général de réglage. Allgem. Symbol für Regelbarkeit beliebiger Art. General Symbol for variability.	
32 (212)	Contact mobile (curseur). Stufen oder Gleitkontakt. Variable (sliding) contact.	
33 (301)	Bornes ou contacts. Verbindungsstellen. Terminals or contacts. Observation : Symbole général.	
34 (302)	Borne ou contact fixe. Verbindungsstelle durch Klemmen. Terminal or contact, fixed.	
35	Borne ou contact mobile. Schaltbare Verbindungsstelle. Terminal or contact, moveable.	
41 (207)	Condensateur ou capacité. Kondensator oder Kapazität. Condenser or Capacity. Observation : Symbole général.	
42	Condensateur ou capacité réglable. Regelbarer Kondensator, Variable Condenser. Observation : Le point indique l'armature mobile.	

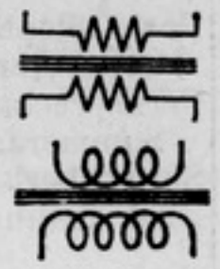
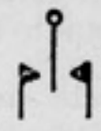
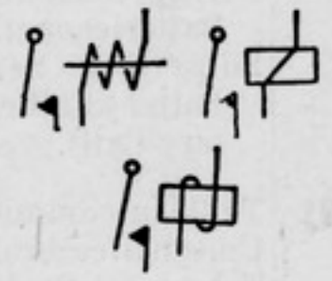
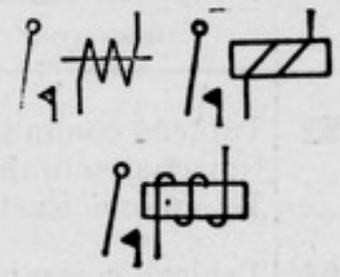
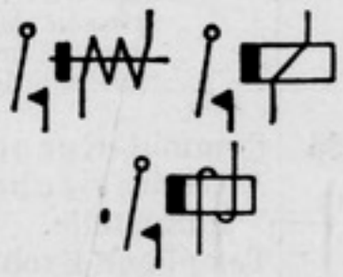
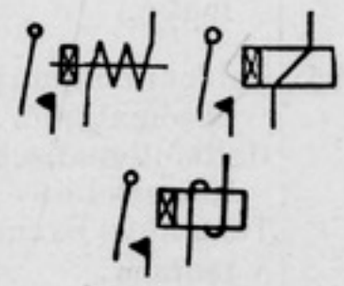
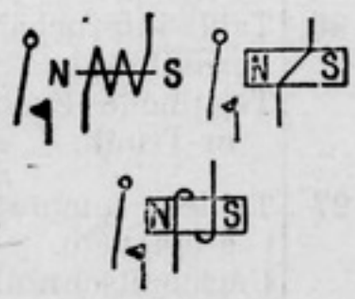
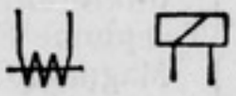
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
43 (208)	Résistance inductive ou non-inductive. Widerstand mit oder ohne Induktivität. Resistance, inductive or non-inductive. OBSERVATION : Symbole général.	
44 (209)	Résistance non inductive. Induktionsfreier Widerstand. Resistance, non-inductive.	
45 (210)	Inductance sans noyau de fer. Selbstinduktionsspule ohne Eisenkern. Inductance, without iron core. OBSERVATION : Symbole général.	
46	Inductance à noyau de fer. Selbstinduktionsspule mit Eisenkern. Inductance, with iron core.	
47	Inductance à fer divisé. Selbstinduktionsspule mit unterteiltem Eisenkern. Inductance, with divided iron core.	
48	Inductance à fer finement divisé. Selbstinduktionsspule mit fein unterteiltem Eisenkern. Inductance, with finely divided iron core.	
49 (213)	Résistance réglable par contact, curseur. Widerstand regelbar durch Stufen oder Gleitkontakt. Resistance, with moveable-contact adjustment. OBSERVATION : Symbole général.	
50	Résistance non inductive réglable par contact. Induktionsfreier Widerstand regelbar durch Stufenkontakt. Resistance, non-inductive with moveable-contact adjustment,	

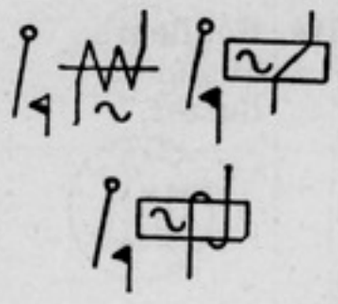
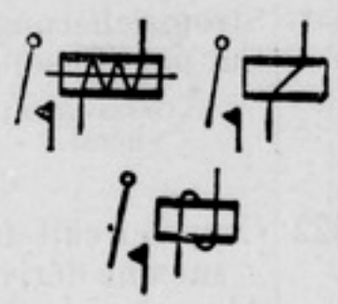
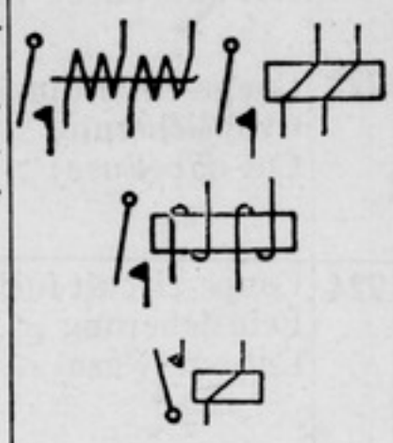
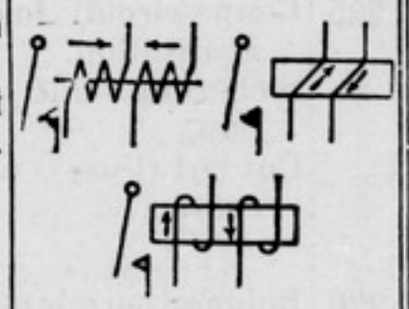
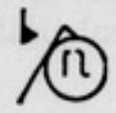
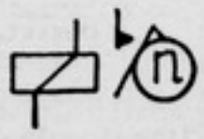
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
51	Inductance réglable par un moyen quelconque. Selbstinduktionsspule beliebiger Regelbarkeit. Inductance, with any type of adjustment.	
52	Inductance réglable par contact, curseur. Selbstinduktionsspule regelbar durch Stufenkontakt. Inductance, with sliding-conduct adjustment.	
71	Récepteur téléphonique. Fernhörer. Telephone Receiver.	
72	Microphone. Mikrophon. Microphone or Transmitter. OBSERVATION : Le trait vertical représente la membrane; le cercle représente le boîtier.	
73	Microtéléphone (Appareil combiné). Mikrotelephon (Handapparat). Microtelephone.	
81	Poste téléphonique. Fernsprechstelle. Subscriber's Set. OBSERVATION : Symbole général.	
82	Poste téléphonique B. L. Fernsprechstelle O. B. Subscriber's Set L. B.	
83	Poste téléphonique B. C. Fernsprechstelle Z. B. Suscriber's Set C. B.	
84	Poste téléphonique automatique. Automatische Fernsprechstelle. Subscriber's Set Automatic.	
85	Poste téléphonique B. L. à appel magnétique. Fernsprechstelle O. B. mit Induktoranruf. Subscriber's Set, L. B. Magneto Calling.	

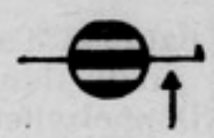
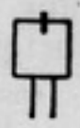
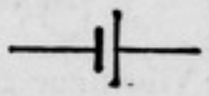
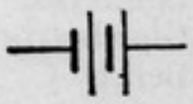
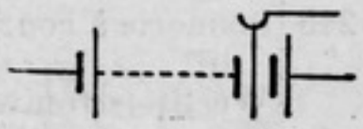
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
86	Poste téléphonique B. L. à appel vibré. Fernsprechstelle O. B. mit Summeranruf. Subscriber's Set, L. B. Buzzer Calling.	
87	Poste téléphonique B. L. à appel combiné. Fernsprechstelle O. B. mit komb. Anruf. Subscriber's Set, L. B. Magneto and Buzzer Calling.	
88	Poste téléphonique B. L. avec appel par pile. Fernsprechstelle O. B. mit Batterieanruf. Subscriber's Set, L. B. with Battery Calling (with Battery Call).	
91	Tableau commutateur. Umschalteschrank. Telephone Exchange. OBSERVATION : Symbole général.	
92	Tableau commutateur B. L. Umschaltschrank O. B. Telephone Exchange L. B.	
93	Tableau commutateur B. C. Umschaltschrank Z. B. Telephone Exchange C. B. OBSERVATION : Le trait sera plus ou moins épais suivant l'importance de l'installation.	
94	Commutateur automatique. Automatische Vermittlungsstelle. Telephone Exchange, Automatic.	
95	Tableau commutateur semi-automatique. Halbautomatische Vermittlungsstelle. Telephone Exchange, Automanual.	
96	Table interurbaine. Fernschrank. Telephone Exchange, Toll or Trunk.	
97	Tableau commutateur B. L. à magnéto. Umschaltschrank O. B. Induktoranruf. Telephone Exchange, L. B. Magneto Call.	

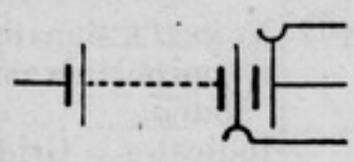
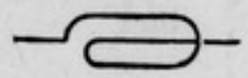
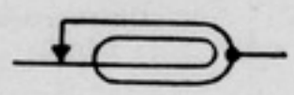
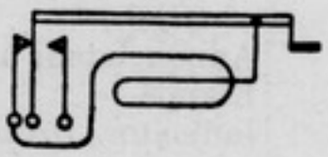
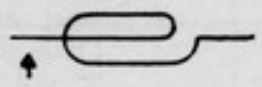
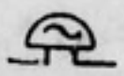
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
98	Tableau commutateur B. L. à appel vibré. Umschaltschrank O. B. mit Summeranruf. Telephone Exchange, L. B. with Buzzer Calling.	
99	Tableau commutateur B. L. à appel combiné. Umschaltschrank O. B. mit komb. Anruf. Telephone Exchange, L. B. with Magneto and Buzzer Calling.	
111	Jack. Klinke. Jack. OBSERVATION : Symbole général.	
112	Jack. Klinke. Jack. OBSERVATION : Symbole simplifié.	
113	Fiches. Stöpsel. Plugs.	
114	Fiche de prise de contact. Stecker. Plug, Operator's, 4-way.	
115	Fiche et mâchoire de contact. Stecker mit Büchse. Plug and Jack, 2-way.	
116	Clé à bouton à contact de travail. Taste mit Arbeitskontakt. Presse Button, « make ».	
117	Clé à bouton à contact de repos. Taste mit Ruhekontakt. Press Button, « break ».	
118	Clé à bouton combinée. Taste mit Wechselkontakt. Press Button, « make » and « break ».	
119	Clé à retour automatique. Schlüssel mit selbsttätigem Rückgang. Key, non-locking. EXEMPLE : Clé d'appel.	

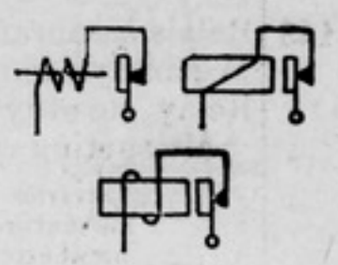
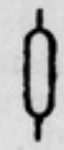
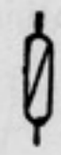
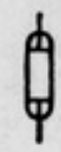
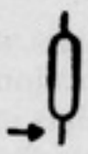
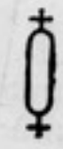
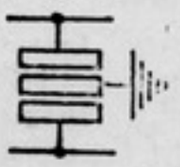
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
120	Clé à enclenchement. Schlüssel mit fester Stellung. Key, locking. Exemple : Clé de conversation.	
121	Clé à 3 positions. Schlüssel mit 3 Stellungen. Key, 3-position. Observation : Les flèches sont facultatives.	
131	Transformateur. Uebertrager. Transformer. Observation : Symbole général.	
132	Transformateur. Uebertrager. Transformer. Observation : Disposition simplifiée. Quand les deux fils d'un circuit sont représentés par un seul trait.	
133	Transformateurs à 3 enroulements. Uebertrager mit 3 Wicklungen. Transformer with 3 windings.	
134	Transformateur réglable. Regelbarer Uebertrager. Transformer variable.	
135	Transformateur à noyau de fer. Uebertrager mit Eisenkern. Transformer with iron core.	
136	Transformateur à fer divisé. Uebertrager mit unterteiltem Eisenkern. Transformer with divided iron core.	

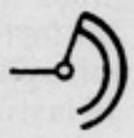
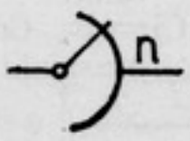
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
137	Transformateur à fer finement divisé. Uebertrager mit fein unterteiltem Eisenkern. Transformer with finely divided iron core.	
141	Contact simple. Einfacher Kontakt. Contact, « make ».	
142	Contact double. Doppelkontakt. Contact, « make » and « break ».	
143	Relais. Relais. Relay. Observation : Symbole général.	
144	Relais avec indication du sens d'enroulement. Relais mit Angabe der Wicklungsrichtung. Relay with indication of direction of windings. Observation : L'entrée et la sortie du relais peuvent également être figurées du même côté du noyau.	
145	Relais à attraction différée. Langsam anziehendes Relais. Relais, slow operating.	
146	Relais à relâchement différé. Langsam abfallendes Relais. Relay, slow releasing.	
147	Relais polarisé. Polarisiertes Relais. Relay with cores polarized by permanent magnetism.	
	Exemple :	

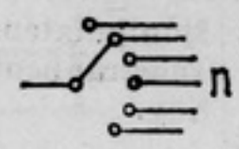
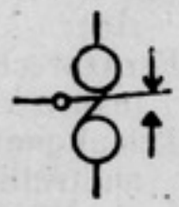
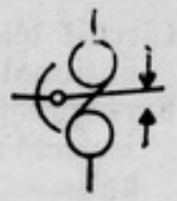
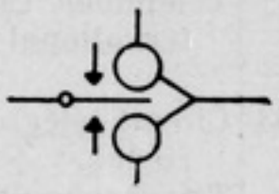
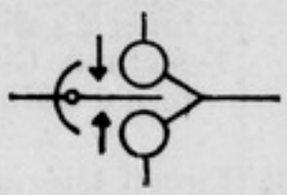
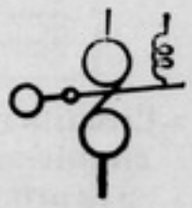
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
148	Relais à courant alternatif. Wechselstromrelais. Relay, steadily operated by alternating current. OBSERVATION : Le pivot de l'armature peut également être figuré en bas-	
149	Relais insensible au courant alternatif. Relais, unempfindlich gegen Wechselstrom. Relay, unaffected by alternating current.	
150	Relais à 2 enroulements actifs. Relais mit 2 sich unterstützenden Wicklungen. Relay with double winding. EXEMPLE :	
151	Relais à 2 enroulements à action différentielle. Relais mit 2 entgegengesetzt wirkenden Wicklungen. Relay, differential.	
161	Compteur de conversations. Gesprächszähler. Meter or Message Register. OBSERVATION : Symbole général.	
	Compteur de conversations. Gesprächszähler. Meter or Message Register. OBSERVATION : Symbole détaillé. OBSERVATION : Le relais peut être figuré sous l'une des 3 formes du n° 143.	
171	Voyant. Schauzeichen. Indicator, Grid or Flag Type. OBSERVATION : Symbole général.	

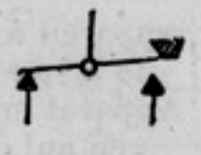
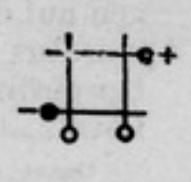
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
172	Voyant à signalisation. Schauzeichen mit Signalgebung. Indicator, Grid or Flag Type, with alarm contact.	
173	Annonciateur. Klappe. Indicator, Drop. OBSERVATION : Symbole général.	
	Annonciateur à volet. Klappe. Indicator, Drop. OBSERVATION : Symbole simplifié. OBSERVATION : Le relais peut être figuré sous l'une des 3 formes du n° 143.	
174	Lampe. Lampe. Lamp, Signal or Resistance.	
175	Lampe à éclats. Flackerlampe. Lamp, Flicker Signal.	
181 (603)	Elément de pile ou d'accumulateur. Primär-oder Sammlerelement. Primary Cell or Accumulator-Cell. OBSERVATION : Sauf indication contraire, le trait long et mince représente le pôle positif et le trait court et épais le pôle négatif.	
182 (604)	Batterie de pile ou d'accumulateurs. Primär-oder Sammlerbatterie. Battery, Primary Cells or Accumulators.	
183 (605)	Batterie d'accumulateurs à réduction simple. Einfachzellenschalter Cell Switch.	

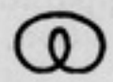
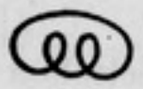
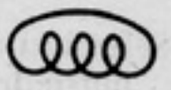
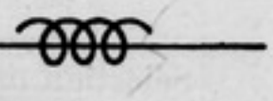
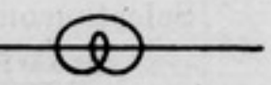
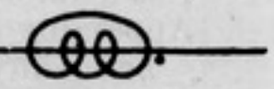
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
184 (600)	Batterie d'accumulateurs à réduction double. Doppelzellenschalter. Double Cell Switch.	
191	Magnéto, appel magnétique. Induktor, Anruf. Ringing Generator. OBSERVATION : Symbole général.	
	Appel magnétique série. Induktor in Reihenschaltung. Inductor, Series, OBSERVATION : Symbole général.	
192	Appel magnétique série. Induktor in Reihenschaltung. Inductor, Series. OBSERVATION : Forme détaillée (à titre d'exemple).	
	Appel magnétique shunt. Induktor in Nebenschluss-Schaltung. Inductor Shunt. OBSERVATION : Symbole général.	
193	Appel magnétique shunt. Induktor in Nebenschluss-Schaltung. Inductor Shunt. OBSERVATION : Forme détaillée (à titre d'exemple).	
201	Vibrateur générateur. Polwechsler. Pole Reverser or Reed Converter.	
202	Interrupteur périodique. Periodischer Unterbrecher (Stromstoss-Sender) Interrupter.	
211	Sonnerie à courant continu. Gleichstromwecker. Bell D C.	
212	Sonnerie à 1 coup. Einschlagwecker. Bell, Single Stroke.	
213	Sonnerie à courant alternatif. Wechselstromwecker. Bell, A. C.	

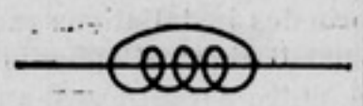
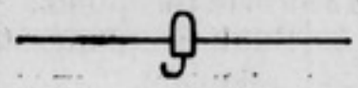
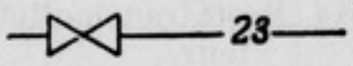
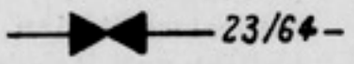
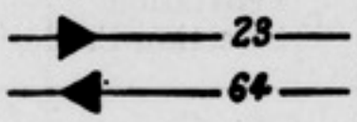
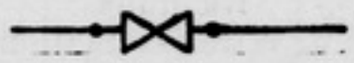
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
214	Ronfleur. Summer. Buzzer.	
221 (328)	Coupe-circuit à fusible. Stromsicherung. Cut-out (Fuse). OBSERVATION : Symbole général.	
222	Coupe-circuit fusible placé sur une dérivation. Abzweigsicherung, Batteriensicherung. Cut-out (Fuse), Branch.	
223	Coupe-circuit fusible > 1 A. Grobsicherung > 1 A. Cut-out (Fuse) > 1 A.	
224	Coupe-circuit fusible ≤ 1 A. Feinsicherung ≤ 1 A. Cut-out (Fuse) ≤ 1 A.	
225	Coupe-circuit fusible à signalisation. Sicherung mit Signalgebung. Cut out (Fuse), with alarm contact.	
226	Bobine thermique. Hitzdrahtspulensicherung. Heat Coil.	
231	Parafoudre. Blitzableiter. Protector. OBSERVATION : Symbole général.	
232	Parafoudre entre deux fils et la terre. Blitzableiter zwischen zwei Drähten und Erde. Protector between two wires and earth.	
233	Parafoudre à vide. Luftleerblitzableiter. Protector, Vacuum.	

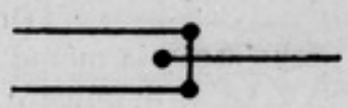
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
241	Disque d'appel. Nummernschalter, Nummernscheibe. Dial. OBSERVATION : Forme simple.	
	OBSERVATION : Forme détaillée.	
242	Sélection ou Recherche (Sélecteur). Wahl (Wähler). Selection, Retractor Switch. OBSERVATION : Symbole général.	
243	Appareil à position de repos. Apparat mit Ruhestellung. Apparatus with Homing Position.	
244	Sélection ou Recherche sur un seul niveau. Wahl auf der selben Stufe. Selection on one Level. OBSERVATION : Forme simple.	
	Sélection ou Recherche sur un seul niveau. Wahl auf der selben Stufe. Selection on one Level. OBSERVATION : Forme détaillée.	
245	Sélection ou Recherche sur plusieurs niveaux. Wahl auf verschiedenen Stufen. Selection on Several Levels. OBSERVATION : Forme simple.	
	Sélection ou Recherche sur plusieurs niveaux. Wahl auf verschiedenen Stufen. Selection on Several Levels. OBSERVATION : Forme détaillée.	
246	Appareil à *n* directions sur le même niveau Apparat mit *n* Verbindungen auf der selben Stufe. Apparatus indicating number of directions *n* on one Level. OBSERVATION : Forme simple.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
246	Appareil à *n* directions sur le même niveau. Apparat mit *n* Verbindungen auf der selben Stufe. Apparatus indicating number of directions *n* on one Level. OBSERVATION : Forme détaillée.	
247	Appareil à plusieurs frotteurs. Apparat mit mehreren Schleifkontakten. Apparatus with several Arm Wipers.	
261	Relais télégraphique. Telegraphenrelais, Telegraph Relay. OBSERVATION : Symbole général.	
262	Relais polarisé. Polarisiertes Relais. Relay Polarized.	
263	Relais différentiel. Differentialrelais. Relay Differential.	
264	Relais différentiel polarisé. Polarisiertes Differential-Relais. Relay Differential Polarized.	
271	Parleur. Klopfer. Sounder.	
272	Parleur polarisé. Polarisierter Klopfer. Sounder Polarized.	
273	Appareil Morse. Farbschreiber Morse. Morse Printer.	
274	Appareil Hughes. Hughesapparat. Hughes Apparatus.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
278	Manipulateur. Telegraphentaste. Key.	
279	Manipulateur inverseur. Doppeltaste. Reversing Key.	
281	Commutateur de lignes. Linienumschalter. Line-Commutator.	
285	Galvanoscope. Stromprüfer, Galvanoskop. Galvanoscope.	
301	Circuit téléphonique intérieur. Fernsprechleitung für den innern Verkehr. Telephone Circuit, for internal traffic.	
302	Circuit téléphonique international. Fernsprechleitung für den zwischenstaatlichen Verkehr. Telephone Circuit, for international traffic.	
303	Circuit télégraphique intérieur. Telegraphenleitung für den innern Verkehr. Telegraph Circuit, for internal traffic.	Tg
304	Circuit télégraphique international. Telegraphenleitung für den zwischenstaatlichen Verkehr. Telegraph Circuit, for international traffic.	Tg
305	Circuit réel 2 fils. Stammdoppelleitung. Physical Circuit, 2-wire. OBSERVATION : Le trait ne doit être interrompu que pour indiquer le numéro du circuit.	23
306	2 Circuits réels 2 fils et leur circuit combiné. 2 Stammdoppelleitungen mit Phantomleitung. 2 Physical Circuits 2-wire, and their Phantom Circuit.	23 23×24 24

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SIMBOL
307	Circuit réel 4 fils. Stammleitung, Vierdraht, aus 2 Stammdoppelleitungen. Physical Circuit, 4-wire.	23/63
308	2 Circuits réels, 4 fils, et leur circuit combiné. 2 Vierdraht-Stammleitungen mit ihrer Vierdraht-Phantom-Leitung. 2 Physical Circuits, 4-wire, and their Phantom Circuit. OBSERVATION : Câble comprenant 40 conducteurs de 1,3 mm de diamètre.	23/63 23×24/63×64 24/64
311	Bobine de charge, charge musicale. Pupinspule für sehr leichte Belastung (Musikpupinisierung). Loading-Coil, with musical loading.	
312	Bobine de charge, charge légère. Pupinspule für leichte Belastung. Loading Coil, with extra-light loading.	
313	Bobine de charge, charge mi forte. Pupinspule für mittelstarke Belastung. Loading-Coil, with mediumheavy loading.	
321	Circuit krarupisé. Krarup-Leitung. Circuit, Continuously-loaded.	
322	Circuit pupinisé, charge légère. Sehr leicht pupinisierte Leitung. Circuit, Coil-loaded with musical loading.	
323	Circuit pupinisé, charge légère. Leicht pupinisierte Leitung. Circuit, Coil loaded with extra-light loading.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
324	Circuit pupinisé, charge mi-forte. Mittelstark pupinisierte Leitung. Circuit, Coil-loaded with medium-heavy loading.	
325	Circuit aérien. Freileitung. Circuit, Open-wire (overhead).	
331	Répéteur, 2 fils. Zweidrahtverstärker. Repeater, 2 wire.	
332	Répéteur, 4 fils. Vierdrahtverstärker. Repeater, 4 wire.	
333	Répéteur, 4 fils. Vierdrahtverstärker. Repeater, 4 wire. OBSERVATION : Pour le cas où l'on distingue les deux circuits d'aller (▶→) et de retour (◀←).	
334	Répéteur sur cordons. Schnurverstärker. Repeater, Cord-Circuit.	
335	Signaleur à fréquence basse. Rufübertrager für Niederfrequenz. Low-frequency Ringer.	
336	Signaleur à fréquence vocale. Rufübertrager für Tonfrequenz. Voice-frequency Ringer.	
337	Sélection à distance (en automatique). Fernwahl. Distant Selective Calling.	
341	Termineur. Gabelabschluss (Gabel). Terminating Set (4-wire terminations).	

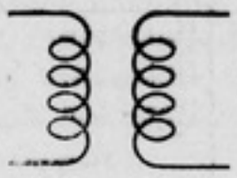
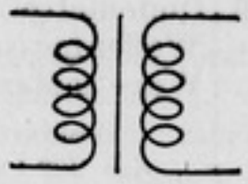
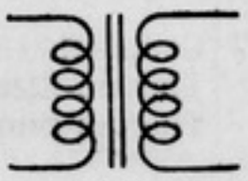
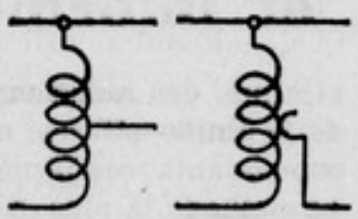
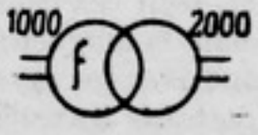
N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
342	Termineur. Gabelabschluss (Gabel). Terminating Set (4-wire terminations). OBSERVATION : Pour le cas où l'on distingue les circuits d'aller (▶→) et deretour (◀←).	
343	Ligne artificielle. Künstliche Leitung. Artificial Line. OBSERVATION : Symbole général, par exemple ligne artificielle de prolongement.	
344	Equilibreur. Nachbildung. Balancing network.	
351	Filtre. Filter oder Sieb. Filter. OBSERVATION : Symbole général.	
352	Filtre, passe-haut. Filter, durchlässig für die obern Frequenzern, Kondensatorkette. Filter, Hight Pass.	
353	Filtre, passe-bas. Filter, durchlässig für die untern Frequenzen, Spulenkette. Filter, Low Pass. OBSERVATION : On peut indiquer la fréquence de coupure.	
354	Filtre de bande. Bandfilter oder Siebkette. Filter, Band Pass.	
355	Suppresseur d'écho. Echosperre. Echo Suppressor.	

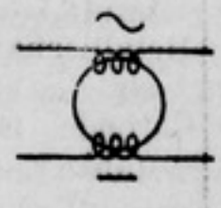
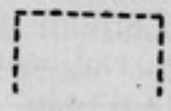
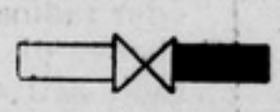
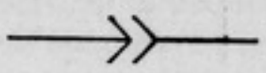
Radiotéléphonie et Radiotélégraphie

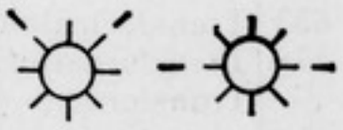
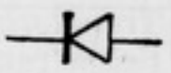
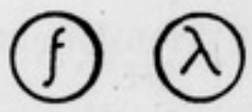
Quand le symbole appartenant à la catégorie des installations radioélectriques représente la même notion que celui de la catégorie des installations téléphoniques et télégraphiques avec fil, le numéro de ce dernier symbole se trouve ajouté, entre parenthèses, au numéro du premier.

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
601	Antenne. Antenne. Aerial. OBSERVATION : Symbole général.	
602	Cadre. Rahmenantenne. Frame Aerial. OBSERVATION : Symbole général.	
603	Cadre équilibré. Ausgeglichene Rahmenantenne. Balanced Frame Aerial.	
604 (11, 17 et 41)	Contrepoids. Gegengewicht. Counterpoise. OBSERVATION : Symbole général.	
605	Transmission. Senden. Transmission. OBSERVATION : Symbole général.	
606	Réception. Empfang. Reception. OBSERVATION : Symbole général.	
611	Poste radioélectrique. Funkstelle. Wireless Station. OBSERVATION : Symbole général. OBSERVATION : Pour spécifier un poste radiotéléphonique, insérer dans le carré le symbole n° 72 (microphone).	
612	Poste transmetteur. Funk-Sendestelle (Sender). Wireless Station, Transmitting.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
613	Poste récepteur. Funk-Empfangsstelle (Empfänger). Wireless Station, Receiving.	
614	Poste transmetteur et récepteur. Funk-Sende-und Empfangs-Stelle (Sender und Empfänger). Wireless Station, Transmitting and Receiving.	
615	Poste radiogoniométrique. Peilstation. Direction-Finder Station.	
616	Poste à émission dirigée. Sendestelle für gerichtete Wellen feststehender Richtung. Wireless Station, Directional Transmission, fixed direction.	
617	Poste à émission dirigée, direction variable. Sender für gerichtete Wellen veränderlicher Richtung. Wireless Station, Directional Transmission, variable direction.	
618	Poste à réception dirigée, direction fixe. Funkstelle für gerichteten Empfang bestimmter Richtung. Wireless Station, Directional Reception, fixed direction.	
619	Poste à réception dirigée, direction variable. Funkstelle für gerichteten Empfang veränderlicher Richtung. Wireless Station, Directional Reception, variable direction.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
631	Condensateur ou capacité variable. Regelbarer Kondensator. Variable Condenser. OBSERVATION : Le point indique l'armature mobile.	
632 (131)	Transformateur. Transformator. Transformer. OBSERVATION : Symbole général,	
633 (132)	Transformateur. Transformator. Transformer. OBSERVATION : Forme simple.	
634	Transformateur sans fer. Uebertrager ohne Eisenkern. Air-Core Transformer.	
635	Transformateur à noyau de fer. Uebertrager mit Eisenkern. Iron-Core Transformer.	
636	Transformateur à fer divisé. Uebertrager mit unterteiltem Eisenkern. Tranformer with divided iron-core.	
637	Autotransformateur sans fer. Autotransformator ohne Eisenkern. Air-Core auto-transformer.	
638	Transformateur de fréquence. Frequenzwandler. Frequency-Changer.	
	EXEMPLE :	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
639	Transformateur de fréquence aimanté (à noyau magnétisé par courant continu). Transformator mit durch Gleichstrom magnetisiertem Kern. Frequency-Changer with direct-current polarisation.	
	EXEMPLE :	
640	Amplificateur magnétique. Magnetverstärker (Tastdrossel). Magnetic Amplifier.	
651	Ecran. Schirm. Screen.	
652	Arc Poulsen. Lichtbogen. Poulsen Arc. OBSERVATION : noir : charbon.	
653	Soupape électrique. Ventil. Rectifier. OBSERVATION : Symbole général.	
654	Tube à vide. Vacuumröhre. Vacuum Tube. OBSERVATION : Symbole général.	
655	Tube à gaz raréfié. Gasgefüllte Röhre. Vacuum Tube filled with rarified gas.	
	Éléments de tube. **Röhrenaufbauteile.** **Parts of Valves.**	
656	Anode. Anode. Anode.	
657	Grille. Gitter. Grid.	

N° C. E. I.	NOM — BENENNUNG — NAME	SYMBOLE — SYMBOL
658	Cathode à fil incandescent. Glühelektrode (Kathode). Incandescent-filament Cathode.	
659	Cathode à chauffage indirect. Kathode mit indirekter Heizung. Indirectly-heated Cathode.	
660	Cathode solide et froide. Kathode fest und kalt. Cathode, solid and cold.	
661	Cathode métallique et liquide. Metallische Kathode, flüssig. Cathode, metallic and liquid.	
662	Cathode photoélectrique ou radioactive. Kathode, photoelektrisch oder radioaktiv. Cathode, photo-electric or radio-active,	
663	Diode. Diode. Diode.	
664	Triode. Triode. Triode.	
665	Tetrode. Tetrode. Tetrode.	
666	Lampe à gaz rare. Edelgasröhre. Lamp filled with rare gas. OBSERVATION : Si nécessaire, ajouter le symbole atomique du gaz rare (Ne,...)	
671	Eclateur. Funkenstrecke. Spark-gap.	
672	Eclateur à étincelle fractionnée. Mehrfach-Löschfunkenstrecke. Quenched Spark-gap.	
673	Eclateur tournant. Umlauf-Funkenstrecke. Rotary Spark-gap.	
674	Haut-parleur. Lautsprecher. Loud-Speaker.	
675	Détecteur. Detektor. Detector. OBSERVATION : Symbole général.	
676	Ondemètre. Wellenmesser. Wave-meter. OBSERVATION : f ou λ suivant que l'on a en vue la fréquence ou la longueur d'onde.	
677	Couple thermoélectrique. Thermo-Element. Thermo-couple.	

Revues, analyses et informations

Photoionisation de quelques vapeurs de métaux alcalins (1).

En présence des résultats très variables obtenus jusqu'alors dans la mesure de l'effet photoélectrique présenté par les métaux alcalins, Mohler et Boeckner se sont attachés à refaire ces mesures par l'application rationnelle de deux méthodes distinctes. Les chiffres obtenus semblent justifier assez mal les hypothèses formulées au sujet des phénomènes étudiés.

1. GÉNÉRALITÉS. — Les résultats des expériences entreprises pour mesurer l'absorption, par les vapeurs de métaux alcalins, des radiations de plus grande fréquence que celle de la limite efficace n'ont pas donné jusqu'ici de résultats concordants ; ces derniers varient beaucoup avec les auteurs. La méthode la plus employée jusqu'ici consiste à mesurer l'absorption de la lumière induite par un jet de vapeur du métal (Lawrence et Williamson).

Certains résultats assez remarquables ont pu être ainsi publiés. On a trouvé que le potassium présente par rapport au césium et au rubidium une anomalie, en l'espèce, une faible absorption au voisinage de la fréquence limite. D'autre part, pour ces trois métaux, l'absorption décroît comme λ^4, λ étant la longueur d'onde, contrairement aux résultats obtenus avec les rayons X (décroissance proportionnelle à λ^3).

Soit J le flux d'énergie traversant une épaisseur l de va-

(1) F.-L. MOHLER et C. BOECKNER, *Bureau of Standards Journal of Research*, août 1929, t. III, p. 303-314, 5 000 mots, 5 figures.

peur à la pression p et contenant N atomes par centimètre cube sous l'unité de pression. L'énergie absorbée sera

$$E = k\,JNpl,$$

k étant ce que les auteurs appellent le *coefficient d'absorption atomique*, dont l'ordre de grandeur a été trouvé entre 10^{-19} et 10^{-21}.

Si, par ailleurs, I est le courant dû à l'ionisation, le nombre d'ions de charge e produits par seconde est $\frac{I}{e}$ et égal au nombre de quanta absorbés, soit $\frac{E}{h\nu}$, ν étant la fréquence, on a alors

$$k = \frac{I h\nu}{e N p l J};$$

$\frac{I}{J}$ définit la *sensibilité photoélectrique*, proportionnelle à $\frac{k}{h\nu}$.

Pour déterminer k en fonction de ν, il suffira de déterminer la sensibilité relative à diverses longueurs d'onde, puis de faire une mesure absolue de k à une longueur d'onde favorable. Pour la première mesure on emploie la méthode de charge d'espace de Foote et Mohler. Une cathode en V est située selon l'axe d'une anode cylindrique dans un tube rempli de vapeur du métal étudié à pression donnée (en fonction de la température). On fait en sorte que la charge d'espace limite à une faible valeur le courant anodique. On arrive à déceler des variations de 10^{-9} A. Or, avec du césium dans le tube on obtient des variations de 10^{-5} A, trop intenses, qui nécessitent l'emploi d'écrans absorbants sur le trajet de lumière excitatrice.

Pour les mesures absolues on utilise un tube de quartz contenant deux électrodes, le tout formant une chambre d'ionisation. L'une des électrodes est cylindrique, l'autre est plane et située à l'intérieur de cette dernière. On établit entre ces électrodes une différence de potentiel de 2 à 10 V. Le flux lumineux actif convenablement diaphragmé traverse le cylindre selon son axe. On évite dans les mesures les effets parasites (ionisation de la surface des électrodes, effet thermoionique), ou l'on en tient compte.

Les sources lumineuses employées dans ces deux méthodes furent des arcs au mercure et au fer-laiton. Leur lumière était filtrée par des monochromateurs et leur flux était mesuré par une pile thermoélectrique étalonnée. Dans toutes ces mesures, la détermination de la pression fut assez incertaine.

2. Résultats. — Les résultats obtenus sont les suivants :

1° *Césium*. — La pression p est calculée en fonction de la température T par une formule due à Kroner,

$$\log_e p = -\frac{3\,966}{T} + 7,1650.$$

Dans toutes les mesures, la raie 3 130 Å du mercure se montre la plus efficace. Les raies de plus grande longueur d'onde (vers le rouge) sont sans action. La courbe de sensibilité en fonction de λ montre une décroissance rapide à partir de 3 130 Å, passe par un minimum vers 2600 Å et remonte ensuite lentement pour les courtes longueurs d'onde.

Les mesures absolues montrent une proportionnalité très satisfaisante de l'ionisation et de la pression. On trouve, en résumé pour k la valeur $1,85 \times 10^{-19}$ pour $\lambda = 3\,130$ Å, ce qui donne, en extrapolant sur la courbe de sensibilité, la valeur

$$k = 2,3 \pm 2 \times 10^{-19},$$

à la limite 3 184 Å.

2° *Rubidium*. — La pression est calculée par une formule de Scott,

$$\log_e p = -\frac{4\,209}{T} + 7,331.$$

Les courbes ont sensiblement la même allure que pour le césium avec des valeurs de la sensibilité un peu plus faibles (85 pour 100). Les mesures absolues de k ont été faites pour une seule valeur de p (à 196° sous une pression correspondant à la hauteur d'une colonne de mercure de 0,023 mm). Pour $\lambda = 2750$ Å on trouve $k = 2,9 \times 10^{-19}$ et à la limite ($\lambda = 2\,968$ Å), $k = 1,1 \times 10^{-19}$.

3° *Potassium*. — Seules ont été faites les mesures relatives de sensibilité. On a déjà signalé qu'à l'encontre des métaux précédents, le potassium a une très faible sensibilité près de la limite. Elle croit très vite vers les longueurs d'onde courtes. La limite est à 2 856 Å.

Quelques mesures directes du coefficient d'absorption du césium ont été tentées malgré le manque d'appareils adéquats. On a trouvé, pour la raie 3 130 Å du mercure, la valeur $k = 3 \times 10^{-19}$ avec une erreur du même ordre, ce qui peut être considéré comme satisfaisant, vu l'imprécision de la mesure.

3. Conclusion. — Comme conclusion, on remarque que l'ensemble de ce travail ne donne pas des résultats très différents des valeurs obtenues par la méthode du jet de vapeur. On a émis l'hypothèse que la forme des courbes de sensibilité caractérisait un genre d'absorption particulier du métal, les courbes descendant pour les faibles longueurs d'onde étant le signe d'une absorption atomique et les courbes de pente inverse (fin des courbes de Cé, Rb et courbe entière de K), celui d'une absorption moléculaire. L'absence totale d'influence de la pression, dans le cas du césium rend ceci difficile à admettre. Il est peu probable que près de la limite il y ait assez de molécules absorbant la radiation excitatrice pour altérer grandement la valeur de k, qui dans le cas contraire perdrait tout son sens.

Quant aux différences entre les valeurs trouvées pour k et les valeurs admises par différents auteurs, il est probable qu'elles sont dues au fait que jusqu'ici on n'a opéré qu'à des pressions, ou très faibles, ou relativement élevées, sans se placer à des valeurs moyennes comme celles qui ont été utilisées ici.

Les auteurs de ce travail ont récemment tenté de mesurer k par l'étude du spectre de recombinaison d'un électron et de l'ion de césium. Ils ont été conduits à des valeurs de k égales à 3×10^{-17} pour un électron se combinant au niveau 25 et $0,5 \times 10^{-19}$ pour un électron du niveau 15. Il y a dans ces déterminations des causes d'erreurs dues à l'évaluation de la concentration en ions et en électrons et il serait souhaitable que ces mesures fussent reprises.

Il est enfin intéressant de comparer la valeur de l'absorption dans la partie continue du spectre à sa valeur à l'endroit d'une raie. On peut considérer que dans ce dernier cas la valeur trouvée est celle de l'intégrale $\int k\,d\nu$ étendue à la largeur de la ligne (évaluée en fréquences) élargie au

besoin par augmentation de pression par exemple. Waible a montré que le rapport $\frac{\int k d\nu}{\Delta\nu}$ était constant et égal à

$$0{,}48 \pm 0{,}01 \times 10^{-19},$$

valeur assez différente de celle qui a été déterminée ici (les mesures portent sur le césium). Des expériences reprises sur les quatre premières raies d'absorption ont donné des valeurs environ 10 fois plus grandes. La théorie de ces phénomènes a été donnée par Sugiara et est en accord avec l'expérience.

Notons que des résultats très récents, publiés par Lawrence et Edlefson, sont en bon accord avec les résultats trouvés ici pour le césium et le rubidium. Ils montrent pour le potassium un maximum faible, mais net, à la limite, en plus de la courbe ascendante déjà signalée. — A. A.

La photoionisation dans les liquides et les cristaux : relation entre la fréquence des arêtes d'absorption pour les rayons X et la constitution chimique (1).

Une notion physique de grande importance pour l'interprétation de nombreux phénomènes a été introduite récemment par Sommerfeld (1927). C'est ce qu'on a appelé le « champ extérieur », ou, pour employer un terme qui semble préférable, le « potentiel moyen » dans un corps condensé. Dans la théorie électronique des métaux due à Sommerfeld, l'énergie d'un électron du métal, ou électron « libre », est représentée comme égale à la différence de deux termes énergétiques, soit $W_i - W_0$. W_0 est l'énergie potentielle moyenne (2) de l'électron lorsqu'il se meut dans le métal et W_i est son énergie cinétique moyenne. Naturellement, W_0 est égal à eV_0, V_0 étant le potentiel moyen dans le métal.

Bethe (1928) a pu obtenir une expression théorique du potentiel moyen dans un corps solide ou liquide : il a pour valeur

$$V_0 = \frac{2\pi eN}{3v} \sum_k \overline{r_k^2}. \qquad (1)$$

où

$$\overline{r_k^2} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} r^2 \psi_k \psi_k^* r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, d\varphi \qquad (2)$$

Ici, r, θ et φ sont les coordonnées polaires spatiales d'un électron atomique par rapport au noyau, de sorte que $\overline{r_k^2}$ est la valeur mécanique quantique moyenne de r_2 pour le k^{me} électron. La somme (1) doit être étendue à tous les électrons de l'atome. N est le nombre d'Avogadro et v, le volume moléculaire.

Rosenfeld (1929) a indiqué que, pour chaque corps, V_0 est lié à la susceptibilité diamagnétique spécifique. La formule de Pauli relative à la susceptibilité diamagnétique moléculaire est la suivante

$$\chi = -\frac{Ne^2}{6m_0c^2} \sum_k \overline{r_k^2}, \qquad (3)$$

qui, combinée avec (1), donne

$$V_0 = -\frac{4\pi m_0 c^2 \chi}{ev}, \qquad (4)$$

ou, en remplaçant $\frac{\chi}{v}$ par K, susceptibilité spécifique, et en introduisant les valeurs numériques des constantes

$$V_0 = -6{,}43 \times 10^6 K, \text{ en volts},$$
$$W_0 = -6{,}43 \times 10^6 K, \text{ en volts} \times \text{électrons} \qquad (5)$$

Ainsi, la connaissance de la susceptibilité diamagnétique d'un corps liquide ou solide permet de prévoir l'énergie potentielle d'un électron libre dans ce corps. L'énergie totale de l'électron sera $T_a - W_0$, où T_a est l'énergie cinétique moyenne de l'électron. Il est probable que, même à l'état énergétique le plus bas, T_a n'est pas nul pour un électron libre, dans un cristal de sodium par exemple. L'électron, errant d'un ion à l'autre, pénètre dans chaque ion, parcourant une orbite en partie képlérienne. Pour une orbite de Képler, T_a est égal à la moitié de l'énergie potentielle moyenne changée de signe, soit $\frac{1}{2} W_0$.

D'autre part, pour un électron mobile dans une région de potentiel constant, telle que la suppose Sommerfeld dans sa théorie électronique des métaux, on a, dans l'état le plus bas, $T_a = 0$. Ainsi, l'énergie totale d'un électron à son état énergétique le plus bas doit être comprise entre $-W_0$ et $\frac{1}{2} W_0$. En d'autres termes, l'affinité électronique E du liquide ou du cristal doit être comprise entre $\frac{1}{2} W_0$ et W_0. L'auteur montre ensuite que divers phénomènes observés indiquent que E est égal à environ 0,80 W_0.

En effet, l'on peut déduire de la photoionisation des solutions aqueuses d'halogénures que l'affinité électronique de l'eau est égale au produit de 3,81 v par la charge d'un électron, ce qui correspond à $E = 0{,}82\ W_0$. De plus, les valeurs observées des limites à grande longueur d'onde de l'absorption ultraviolette ayant pour conséquence la photoionisation conduisent, pour les cristaux de cinq halogénures alcalins, à des affinités de ces cristaux pour les électrons égales à environ W_0.

Si l'on suppose que la relation $E = 0{,}80\ W_0$ est en général valable, on trouve que l'ion halogène des halogénures d'argent peut être photoionisé par la lumière visible. Il est à présumer que ce phénomène est l'acte primaire de l'impression de la plaque photographique.

En examinant les conséquences de ces vues vis-à-vis de l'absorption des rayons X, l'on est enfin conduit à penser que les facteurs qui jouent un rôle important dans les déplacements des arêtes d'absorption lorsqu'on passe d'un halogénure alcalin à un autre sont le potentiel intérieur et l'affinité électronique des cristaux. — L. B.

(1) L. Pauling. *The physical Review*, 15 septembre 1929, t. XXXIV (2e série), p. 954-963, 2500 mots.

(2) En prenant pour zéro d'énergie potentielle, celle de l'électron situé à l'infini.

SECTION INDUSTRIELLE

Nouvelle disposition des inducteurs des machines synchrones

La nouvelle disposition que propose l'auteur, dans cet article, pour les inducteurs des machines synchrones est destinée à réaliser un but semblable à celui de l'amortisseur de Maurice Leblanc, dont sont munies la plupart des machines synchrones modernes, et à intervenir lors du démarrage de la machine en moteur ; elle peut d'ailleurs être employée conjointement avec cet amortisseur. La solution envisagée est une amélioration, tant au point de vue économique qu'au point de vue de son efficacité, de la disposition des inducteurs lisses en deux circuits, l'un pour l'excitation en courant continu, l'autre, en court-circuit, fonctionnant en amortisseur. M. Heyland précise les perfectionnements qu'il propose et montre les avantages qui en résultent, notamment si la machine doit fonctionner en moteur.

I. **Introduction**. — Pour obtenir dans des moteurs synchrones à pôles saillants certains couples de démarrage sans que les courants absorbés soient excessifs, en abaissant au démarrage par autotransformateurs la tension du réseau à de faibles valeurs, on s'est servi très souvent, ces derniers temps, d'abord surtout aux Etats-Unis d'Amérique, et même pour la commande de laminoirs, par exemple, d'une disposition analogue à celle de l'amortisseur de Maurice Leblanc ; on prévoit sur les pièces polaires un certain nombre d'encoches et de barres qui, reliées entre elles aux deux extrémités par deux anneaux d'une certaine résistance, forment une cage incomplète.

Dans des machines synchrones à inducteurs lisses, un résultat plus satisfaisant a été obtenu, surtout pour les moteurs qui doivent démarrer en charge, avec inducteurs à encoches uniformément réparties et à enroulement normal polyphasé à champ tournant : un circuit, suivant un axe, sert de circuit d'excitation à courant continu, et un autre circuit, suivant un autre axe, peut être mis en court-circuit et tenir lieu d'amortisseur. Quand ces machines sont employées comme moteurs, dits asynchrones synchronisés d'après le procédé introduit par M. Danielson, leur démarrage peut être effectué comme dans le cas d'un moteur asynchrone ordinaire, l'enroulement polyphasé de l'inducteur fonctionnant d'abord comme circuit secondaire et étant connecté à un démarreur normal de moteur asynchrone, comme le montre la figure 1 dans le cas, par exemple, d'un inducteur diphasé.

Toutefois, ces machines présentent un inconvénient d'ordre économique résultant de ce que, par suite de la limitation de la section utile du fer pour le champ qui nécessite un pas d'enroulement diamétral ou le croisement des bobines de différentes phases, avec les dispositions des têtes de bobines suivant plusieurs plans (fig. 2), la longueur d'une spire devient relativement grande et même beaucoup plus grande que dans le cas du circuit d'excitation d'une machine à pôles saillants, avec simples bobines inductrices montées sur les pôles ; l'utilisation de la place disponible sur ces inducteurs est donc plus défavorable ; le poids du cuivre rapporté aux ampères-tours nécessaires pour l'excitation devient relativement grand et les pertes par effet Joule dans l'excitation de ces machines atteignent des valeurs relativement élevées.

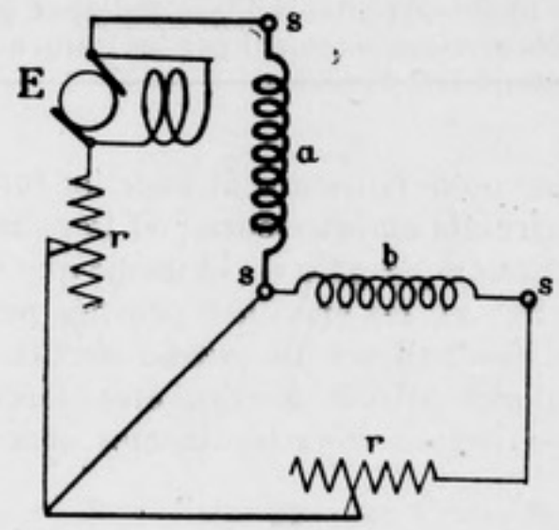


Fig. 1. — Schéma des connexions, au démarrage, du moteur synchrone à inducteur lisse à enroulements diphasés, formant les deux phases a et b, dont a sert en marche normale comme circuit d'excitation à courant continu et b, comme circuit amortisseur ; s, bagues ; E, excitatrice à courant continu ; r, résistance de démarrage.

II. **Description de la nouvelle disposition**. — 1. Avantages. — La disposition que nous allons décrire ici présente les deux avantages suivants ; elle conduit à des résultats d'abord très satisfaisants, à peu près semblables à ceux obtenus avec les autres machines à inducteurs lisses ; de plus, elle permet une utilisation de la matière et de la place disponible sur les inducteurs aussi bonne, et même meilleure, que dans les machines normales à pôles saillants, avec un poids de cuivre relativement faible et avec de faibles pertes d'excitation. A cet effet, le nouveau circuit introduit avec cette

disposition est placé en principe de manière que les sections que forment les spires de ce circuit se trouvent entre celles du circuit d'excitation, et que leur longueur, dans le sens frontal, ne présente que des parties relativement plus petites.

La figure 3 montre le principe de cette disposition pour un inducteur lisse. Les encoches dans l'inducteur les plus voisines de l'axe des pôles peuvent être supprimées, comme on le fait souvent pour les turboalternateurs sans circuits amortisseurs ; si le nombre de bobines d'excitation par pôle est le même que dans le cas précédent (fig. 2), les encoches prévues peuvent être plus larges. Les bobines du second circuit, leurs longueurs étant plus petites, peuvent être placées avec les bobines d'excitation dans les mêmes encoches et se trouvent ainsi dans un autre plan, sans qu'il y ait croisement entre bobines. Enfin la répartition des encoches peut être telle que, pour un champ utile donné par pôle, sa répartition à vide soit la plus favorable et que la longueur extérieure des spires de l'enroulement d'excitation et, de ce fait, leur longueur totale atteignent un minimum.

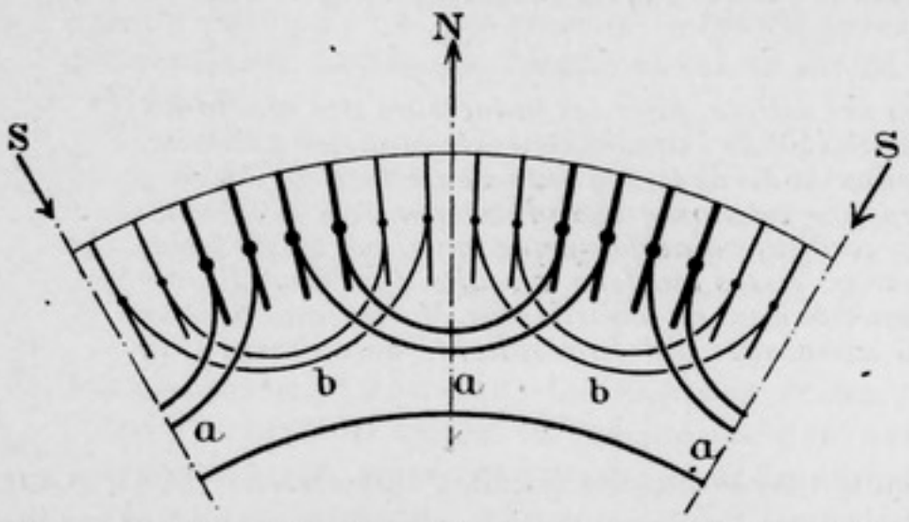


Fig. 2. — Vue schématique frontale, suivant la disposition ordinaire, d'un inducteur lisse normal à enroulements diphasés, disposés dans quatre encoches par phase et par pôle ; ces encoches sont figurées par des lignes radiales, les parties extérieures des bobines des deux phases étant représentées schématiquement par les traits a et b : N, S, axes du circuit d'excitation a.

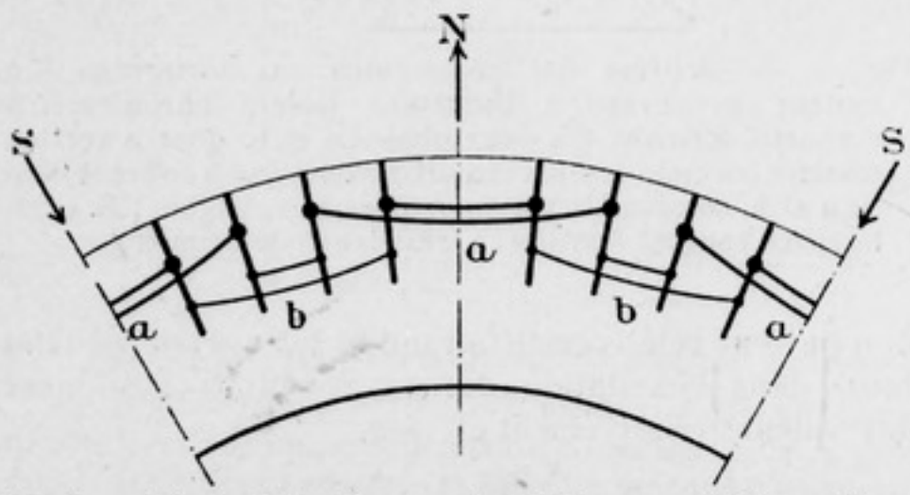


Fig. 3. — Vue schématique, suivant la nouvelle disposition, d'un inducteur lisse à enroulements diphasés, disposés dans quatre encoches par phase et par pôle ; les encoches sont les mêmes pour les deux phases.

Quand une telle disposition doit servir, par exemple, au démarrage comme moteur, en reliant les deux circuits à un démarreur, comme le montre la figure 1, les courants induits dans les deux circuits donnent lieu ici à une répartition également polyphasée et produisent en principe à peu près le même effet que dans la disposition connue représentée sur la figure 2. La différence réside surtout dans le fait que, pour un couple de démarrage donné, dans les bobines du second circuit, la section du fer qu'elles embrassent étant plus faible, les ampères-tours doivent être plus élevés. Mais comme l'augmentation des pertes dans le cuivre de ce circuit n'entre en ligne de compte que pour la courte durée de démarrage, elle ne présente pas d'autre inconvénient. En marche normale, comme moteur ou comme génératrice, les seuls courants qui peuvent être induits dans ce second circuit sont ceux résultant de mouvements pendulaires et d'augmentation brusque et instantanée de la charge, courants dont les valeurs efficaces restent toutefois en moyenne toujours relativement faibles.

La meilleure utilisation de cet inducteur est celle obtenue par la réduction des encoches au nombre de deux par pôle. Dans ce cas, les deux circuits forment chacun une seule bobine par pôle, comme le montre la figure 4. On voit sur cette figure que le circuit d'excitation peut, dans ce cas, être disposé comme les bobines inductrices dans les machines à pôles saillants, tandis que le second circuit forme des bobines plus petites, placées sur des dents ou des pôles intermédiaires plus réduits, disposés, comme nous l'avons déjà indiqué dans une publication antérieure, pour obtenir certains effets (1). Il s'agissait de produire dans l'inducteur un champ au démarrage, essentielle-

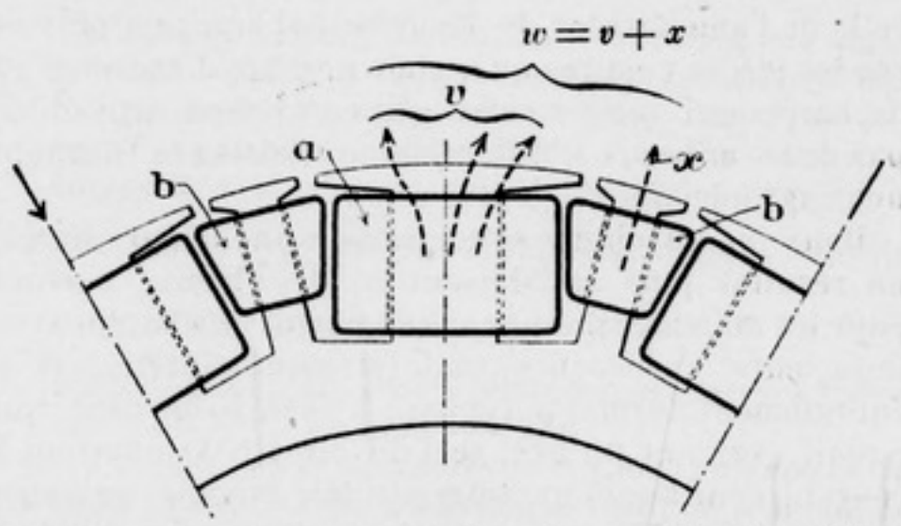


Fig. 4. — Vue schématique, suivant la nouvelle disposition, d'un inducteur à pôles saillants, montrant le second circuit b disposé sur des pôles intermédiaires et illustrant l'utilisation simultanée de ces derniers pour réduire la distorsion et la diminution du champ en charge, dues, dans des machines à pôles saillants simples, à la réaction d'induit du courant actif, ou pour produire un effet de compoundage.

(1) A. Heyland ; Démarrage des moteurs synchrones, à inducteurs lisses ou à pôles saillants, par un champ transversal par rapport aux pôles. *Revue générale de l'Electricité*, 18 mai 1929, t. XXV, p. 769-774.

ment transversal par rapport aux axes des bobines d'excitation; évitant d'induire des tensions trop élevées dans ces bobines, ces mêmes effets peuvent également être utilisés ici.

Ces moteurs à pôles saillants avec pôles intermédiaires ayant sur l'inducteur ainsi deux circuits, l'un a en court-circuit sur l'excitatrice, l'autre b en court-circuit fonctionnant en amortisseur, présentent en outre l'avantage de permettre le fonctionnement éventuel pendant un temps très court en moteur asynchrone comme les moteurs asynchrones synchronisés ; autrement dit, si par accident, par suite d'une trop forte surcharge, le moteur se décroche, il ne s'arrête pas comme un moteur normal à pôles saillants simples, mais il s'accroche automatiquement à nouveau dès que la charge diminue.

2. Détails de construction. — La construction de ces machines, fonctionnant comme génératrices ou, par exemple, comme moteurs démarrant à vide, peut être semblable à celle des machines normales à pôles saillants. Quand une telle machine doit fonctionner comme moteur, et si celui-ci doit développer un couple de démarrage élevé, il est utile que l'inducteur soit feuilleté. Si, dans ce cas, on désire employer des bobines faites d'avance, un mode d'exécution qui permet de le faire avec un petit nombre de pièces démontables est représenté sur le schéma de principe de la figure 5.

Sur cette figure le corps de l'inducteur, formé par exemple par des tôles, a des encoches très ouvertes ;

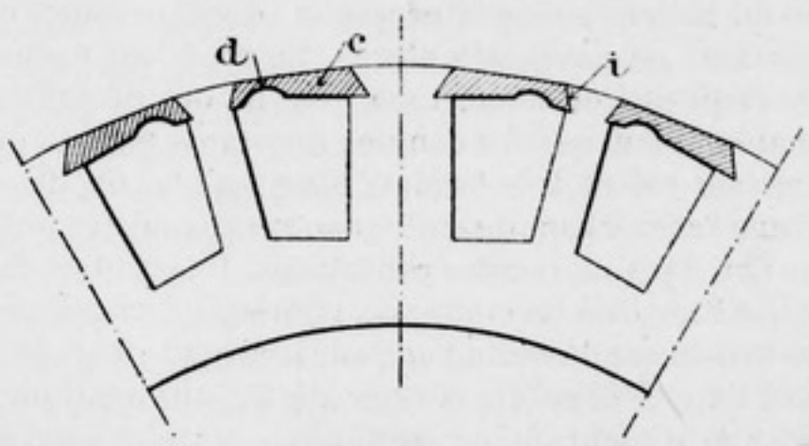


Fig. 5. — Coupe schématique d'un inducteur en tôles à pôles saillants, pour moteurs à couple de démarrage élevé, dans lequel, pour employer des bobines faites d'avance, les parties latérales des pièces polaires sont formées par des cales c en acier, fermant les ouvertures de l'inducteur après la mise en place des bobines.

en outre, il a été prévu des cales c en matière magnétique, comme l'acier, ou formées par des paquets de tôles ayant une section telle que, en les introduisant après la mise en place des bobines, elles forment en même temps les parties latérales des pièces polaires des pôles. Pour éviter au démarrage de trop forts courants induits dans ces cales, si elles sont en acier massif, courants susceptibles de se fermer sur les tôles, on peut introduire des feuilles isolantes i servant en même temps au serrage. Ou bien, du fait que ces courants produisent également au démarrage un couple moteur, les cales, surtout quand elles sont constituées par des paquets de tôles rivées ensemble, peuvent aussi être non isolées, formant ainsi par leur contact avec les tôles une cage relativement résistante. Ces cales produiront une légère augmentation de la dispersion du champ, mais qui reste pratiquement constante et qui est limitée par la saturation en d où on réduira leur section à la valeur minimum admissible au point de vue mécanique. D'autre part, précisément par suite de cette particularité, elles ont pour effet d'assurer une répartition très avantageuse du champ utile par pôle à vide, même pour un entrefer faible et uniforme, c'est-à-dire qu'à partir des axes des pôles, la réduction du champ est progressive, celui-ci pouvant être rendu sinusoïdal sans courbure spéciale adoptée par la surface polaire. On peut aussi, pour ne pas diminuer audit point l'épaisseur de ces cales, limiter leur section près des pôles intermédiaires et le champ de dispersion résultant par une série de trous t suivant le sens radial, comme le montre la figure 6.

Dans des moteurs ayant au stator des encoches ouvertes, disposition analogue à celle des moteurs à

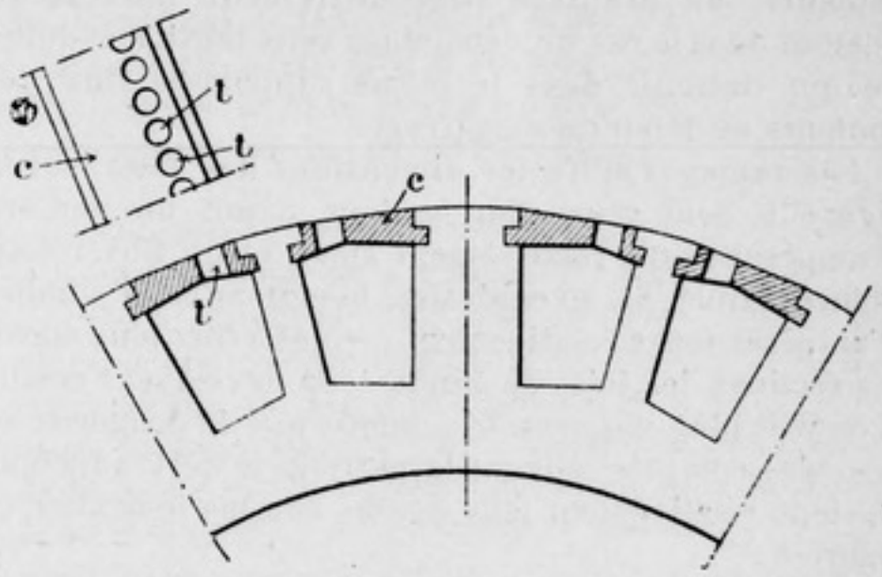


Fig. 6. — Disposition analogue à celle de la figure 5, avec une autre forme des cales c en acier, dont la section près des pôles intermédiaires est diminuée par des trous t dans le sens radial.

haute tension, où l'on veut pouvoir employer des bobines faites sur gabarit et isolées d'avance, les cales doivent être formées par des paquets de tôles. Une forme de tôle, qui diminue la section de ces cales près des pôles intermédiaires, est représentée sur la figure 7 qui montre, en outre, l'emplacement des trous m pour les rivets ou boulons de serrage en acier et du côté des pôles intermédiaires des trous n plus grands, qui peuvent servir d'ailleurs à recevoir également des boulons de serrage, lesquels dans ce cas seront de préférence en métal non magnétique, en bronze, par exemple. Sur cette même figure on voit aussi que ces rivets ou boulons de serrage des cales peuvent être placés de manière à former avec ceux qui sont près de la périphérie des autres tôles de l'inducteur, une série de boulons uniformément répartis ; ils peuvent être ainsi utilisés pour tenir lieu en même temps de cage résistante, contribuant à développer le couple au premier moment du

démarrage, où généralement les couples résistants des moteurs sont les plus élevés, et évitant l'effet presque monophasé que produit la cage formée par les pièces polaires seules.

La continuité de la section du fer à la hauteur des pièces polaires formées ici par ces cales pré-

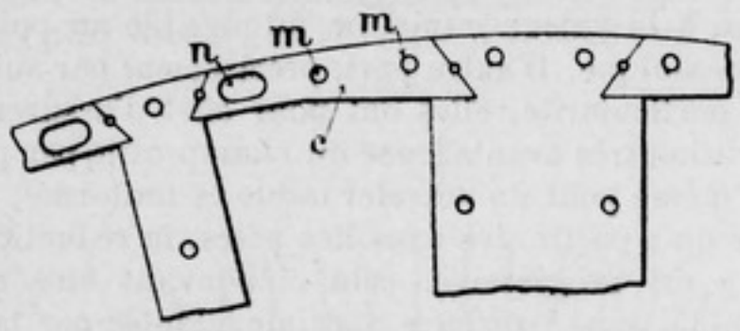


Fig. 7. — Forme de tôle c pour cales en paquets de tôles, pour des moteurs à couple de démarrage élevé et encoches ouvertes sur l'induit, ayant, outre les trous m pour leurs rivets ou boulons de serrage en acier, du côté des pôles intermédiaires, des trous n plus grands, devant recevoir des boulons de serrage en bronze.

sente ici, au premier moment du démarrage des moteurs, un avantage particulièrement intéressant, surtout dans le cas du démarrage sous tension réduite, ce qui diminue dans le même rapport le flux des moteurs au début du démarrage.

Les rapports entre les dimensions des tôles, sur la figure 7, sont ceux d'un moteur ayant un nombre d'ampères-tours relativement élevé et un flux relativement faible. Si, au contraire, le moteur est à nombre d'ampères-tours relativement petit et à flux plus élevé, les sections des tôles de l'inducteur deviennent relativement plus importantes, tandis que la longueur de ces cales comptée suivant la périphérie de l'inducteur devient relativement plus petite, comme le montre la figure 8.

3. Etude de la répartition du champ et du fonctionnement. — Nous avons montré en outre, dans notre article précité (1), l'effet utile qu'exercent ces pôles

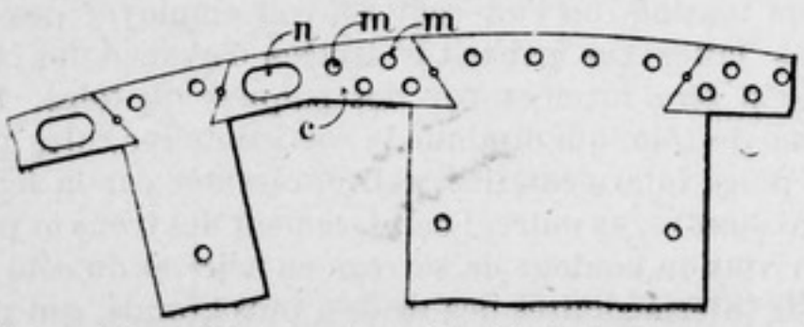


Fig. 8. — Disposition analogue à celle de la figure 7, pour moteurs à nombre d'ampères-tours relativement plus petit et à flux magnétique relativement plus élevé.

intermédiaires sur la répartition et la diminution de la distorsion unilatérale du champ, telle que l'indiquent sur la figure 4, pour un pôle, les lignes v, distorsion due, dans des machines à pôles saillants simples en charge, à l'effet transversal par rapport aux pôles

(1) A. Heyland. *Loc. cit.*

de la réaction d'induit du courant actif. Cette réaction se retranche du champ inducteur d'un côté de la pièce polaire ; de l'autre côté, elle s'y ajoute, d'où affaiblissement du champ d'un côté, par exemple, à gauche, et renforcement de l'autre, par exemple, à droite. Cette même réaction produit ensuite, également dans le pôle intermédiaire à droite, un champ x du même sens, de sorte que l'ensemble des champs, $w = v + x$, représente à nouveau une répartition plus symétrique du champ total par pôle, c'est-à-dire que l'effet devient ici moins une déformation qu'un déplacement de l'ensemble total du champ par pôle.

Le rôle amortisseur très parfait du second circuit dans cette disposition résulte du fait que tout mouvement pendulaire ou toute variation brusque de la charge produira surtout une forte variation de cette partie x du champ total w, donc précisément de la partie sur laquelle l'effet amortisseur de la bobine b est concentré.

Dans le cas où il s'agit surtout de produire des effets amortisseurs, comme par exemple pour le fonctionnement de ces machines uniquement en génératrices, les circuits b peuvent aussi être formés par de simples spires en cuivre massif, mises en court-circuit sur elles-mêmes. Pour des moteurs, d'autre part, démarrant avec des couples élevés, ces bobines seront raccordées, comme il a été dit plus haut, au démarreur.

Dans la disposition connue citée dans l'introduction, pour le démarrage des moteurs à pôles saillants par l'application sur l'inducteur d'une cage incomplète ayant une certaine résistance, son effet amortisseur n'intervient que peu dans les conditions de marche normale du moteur, ce qui nécessite, dans certains cas, des volants de poids très élevés. De plus, ces derniers et le dispositif de démarrage exigent des précautions spéciales ; il faut que les couples résistants près du synchronisme soient très faibles, pour qu'à la fin du démarrage l'accrochage du moteur au synchronisme puisse avoir lieu dans de bonnes conditions. Par contre, dans la disposition décrite ci-dessus, la diminution graduelle de la résistance de démarrage sur le circuit des bobines b rend l'accrochage du moteur plutôt automatique et l'effet amortisseur de ce circuit, en marche normale, permet encore de diminuer le poids de volant.

III. **Application de cette nouvelle disposition.** — Le fait d'obtenir dans des conditions très favorables des couples élevés de démarrage et d'accrochage au synchronisme élargit d'ailleurs largement le champ des applications des moteurs synchrones, c'est-à-dire à de nombreux cas où sont utilisés jusqu'à présent des moteurs asynchrones, soit à cause de leurs conditions de démarrage, soit pour éviter des mouvements pendulaires dans les cas de forts à-coups, à l'exception de ceux où l'on désire utiliser d'autres effets de la variation du glissement des moteurs asynchrones, soit enfin pour obtenir des effets de volants, ou des vitesses variables.

Comme autre résultat également important de cette nouvelle construction, nous faisons remarquer que, en

comparaison des machines à pôles saillants simples, les pôles intermédiaires qui portent dans ce cas le second circuit ne donnent lieu ni à une perte de place, ni à une mauvaise utilisation de la matière comme on pourrait le supposer. Au contraire, ils permettent, par d'autres détails, d'améliorer cette utilisation de la matière; et surtout, lorsque ces machines fonctionnent, ils ont pour effet, pour un nombre d'ampères-tours d'excitation et un entrefer donnés, non seulement de diminuer la distorsion du champ résultant de la charge (fig. 4), mais, du fait que la charge active produit encore dans la partie x du champ total une partie du champ utile, de permettre d'éviter également la réduction relative du flux résultant de la charge dans des machines à pôles saillants simples et d'obtenir, au contraire, que le flux total augmente avec la charge; autrement dit, ils réalisent un véritable effet de compoundage dû à la réaction du courant actif de la charge, d'où réduction du courant d'excitation nécessaire et des pertes d'excitation, et enfin résultat intéressant en ce qui concerne les formes des caractéristiques et le fonctionnement de ces machines en régime variable.

Ainsi, par exemple, un inconvénient connu des moteurs synchrones normaux résulte de l'allure fortement descendante de la caractéristique du flux en fonction de la charge, d'où production d'une forte composante de courant réactif en arrière sur la tension; ou bien, si le moteur est surexcité, diminution du courant réactif déphasé en avant. Pour diminuer ce défaut et pour obtenir certaines capacités de surcharge, on emploie ces moteurs fortement hypercompensés pour la marche à vide, et avec de très grands entrefers. Toutefois ce moyen, qui diminue le défaut mais ne le supprime pas, a pour conséquence d'augmenter l'excitation nécessaire et les pertes d'excitation et diminue sensiblement la valeur du coefficient d'utilisation de la matière que l'on atteint dans des machines à pôles saillants. Il est connu que, pour ces raisons, et afin d'obtenir des caractéristiques du flux en fonction de la charge plus ou moins constantes, on a préféré dans beaucoup de cas employer des moteurs asynchrones, compensés par excitatrices polyphasées, même dans des cas où le fonctionnement asynchrone en marche normale n'est pas nécessaire, et, malgré leurs prix relativement plus élevés, qui sont les mêmes que ceux des moteurs synchrones à inducteurs lisses, c'est-à-dire des moteurs dits asynchrones synchronisés.

Par contre, dans les moteurs synchrones de l'exécution exposée plus haut, l'effet de compoundage des pôles intermédiaires permet d'obtenir des caractéristiques de compensation de phase plus stables, se rapprochant en principe de celles moins descendantes ou plus ou moins constantes que donnent les moteurs asynchrones excités par excitatrices polyphasées série (1); ainsi est supprimé l'inconvénient mentionné des moteurs synchrones normaux, et cela avec entrefers normaux des moteurs.

Cet effet de compoundage peut devenir relativement prononcé, parce que la partie x du flux (fig. 4), qui est nulle pour la marche à vide, augmente jusqu'à une certaine charge, l'induction magnétique dans les pôles intermédiaires restant d'abord encore très faible, en rapport direct avec le courant actif correspondant à la charge. Si, d'autre part, on choisit une induction suffisamment élevée dans les noyaux des pôles principaux, l'autre partie v du flux ne diminue que peu avec la charge, ou reste pratiquement constante, de sorte que le flux total w augmente avec le courant actif de la charge pour une valeur qui se trouve approximativement en rapport avec la section choisie du fer desdits pôles intermédiaires.

Dans un tel moteur, raccordé à un réseau, cette augmentation du flux total a pour effet de créer du courant réactif déphasé en avant sur la tension, qui augmente avec la charge et qui produit ainsi un relèvement correspondant de la caractéristique du moteur.

Le flux total par pôle arrive pour une certaine charge à son maximum, lequel dépend de la somme des sections du fer d'un pôle principal et d'un pôle intermédiaire, c'est-à-dire que pour cette charge et pour toute surcharge les deux sections du fer sont utilisées pour le flux maximum du moteur. D'autre part, le degré de compoundage et la forme de la caractéristique qu'on obtient ainsi dépendent avant tout du rapport choisi entre ces deux sections.

Pour ces moteurs à pôles saillants avec pôles intermédiaires, par suite de cet effet de compoundage, le nombre d'ampères-tours inducteurs peut être prévu relativement faible, d'où l'avantage déjà mentionné plus haut de la réduction des pertes dans le cuivre et du poids du cuivre des bobines inductrices et possibilité d'obtenir, malgré cette réduction, des caractéristiques du flux en fonction de la charge peu descendantes ou plus ou moins constantes, comme celles obtenues dans les moteurs asynchrones excités par excitatrices polyphasées série.

A. Heyland.

(1) A. Heyland; *Revue générale de l'Electricité*, 19 mai 1928, t. XXIII, p. 881, fig. 14.

Revues, analyses et informations

Electrification d'une importante mine d'or aux Etats-Unis (1).

1. Généralités. — Les Montagnes Noires sont situées au sud-ouest de l'Etat de Dakota; la découverte des mines d'or a été faite en 1874 par une expédition conduite par le général D. Custer, mais leur exploitation n'a été entreprise qu'en 1877 par la Homestake mining Company dont le siège est à Lead au sud du Dakota et dans la partie nord des Montagnes Noires. Il n'existait, au début, aucun moyen de communi-

(1) J.-F. Wiggert; *General electric Review*, septembre 1929, t. XXXII, p. 477-489, 8 000 mots, 16 figures.

cations; les matériaux étaient amenés ou enlevés par des charrettes attelées de bœufs. En 1879, on construisit la première ligne téléphonique qui reliait Cheyenne à Deadwood en passant par Lead. Les bureaux de la Homestake Company furent aussitôt raccordés à cette ligne; en 1880, la Father Desemet Company, filiale de la Homestake mining Co, installa le téléphone dans tous ses ateliers et bureaux. C'est au cours de l'hiver 1888 que parut la première machine Edison pour l'éclairage; elle alimentait 75 lampes à incandescence réparties dans les magasins et manutentions de la Hearst mercantile Company; bientôt lui succéda une autogénératrice paur 150 lampes; en effet, à cette époque, on définissait la puissance d'une génératrice d'après le nombre de lampes qu'elle pouvait allumer: quant aux lampes, elles étaient à filament de carbone, toutes d'une intensité lumineuse de 16 bougies et elles absorbaient 110 w, ce qui correspond à une consommation spécifique de 6,08 w : b.

Jusqu'en 1906, l'emploi des moteurs était très restreint; ils étaient du type à courant continu et alimentés par les génératrices destinées à l'éclairage.

2. Electrification des moulins de broyage. — 1° *Période de 1906 à 1912.* — C'est de l'année 1906 que datent les premiers essais de transmission d'énergie électrique à courant alternatif et son application à la force motrice par la construction de l'usine hydroélectrique de Englewood, située à trois miles environ de Lead et alimentée simultanément par la station de pompage de Hanna et une partie du ruisseau de Peak. Les conduites forcées sont en acier rivé et ont près de 3 miles de longueur ; les joints sont constitués par des manchons garnis de caoutchouc et les rivets sont disposés suivant une hélice. A l'usine, la hauteur piézométrique atteint 145 m et la puissance disponible varie entre 300 et 400 kw; la génératrice est une machine débitant du courant triphasé à la tension de 11 000 v et à la fréquence de 50 p : s. L'énergie est fournie à des moteurs à cage d'écureuil d'une puissance de 25 ch, 440 v et 600 t : mn. Chacun d'eux attaque par engrenages un arbre de renvoi fixé au bâti de la machine et muni de poulies pour la commande de l'arbre à cames qui actionne dix bocards; l'arbre à cames exécute 45 t : mn. Ce groupe a fonctionné comme un groupe autonome jusqu'en 1912; on a enregistré à son actif une période de service continu de dix-huit mois sans la moindre interruption.

On a ensuite procédé à l'électrification des ateliers où se fait le traitement des boues recueillies dans les mortiers des bocards; comme la puissance nécessaire pour cette opération est assez faible et doit être répartie entre un grand nombre de bâtiments qui couvrent une large surface, la distribution de la vapeur était particulièrement onéreuse; on a donc trouvé plus économique de lui substituer la commande électrique, malgré l'obligation où l'on se trouvait d'acheter l'énergie électrique pendant quelque temps.

Le troisième moulin de bocardage comprenant 160 appareils fut électrifié en 1908, ainsi que les deux installations pour le traitement des sables dont l'équipement est à peu près le même que celui des halls à boues.

2° *Période de 1912 à nos jours.* — Au printemps 1912, on mit en route l'usine hydroélectrique de Spearfish érigée à l'embouchure du Spearfish Canyon; l'eau est dérivée de la rivière par un tunnel de 4,5 miles de longueur; à la suite de celui-ci, elle passe dans deux conduites en douves de bois de 122 cm de diamètre, de 360 m de longueur et disposées en siphon renversé pour la traversée d'un ravin; ces conduites débouchent dans une chambre de mise en charge, d'où partent deux conduites forcées de 1 440 m de longueur. L'usine génératrice comprend deux alternateurs triphasés de 2 000 kv-a, 2 200 v, 400 t : mn, et 60 p : s : ils sont entraînés respectivement par des turbines de 1 500 ch accouplées directement à l'arbre des alternateurs. La hauteur de chute est de 200 m. L'énergie est transmise à la tension de 33 000 v jusqu'à la sous-station de Lead construite en même temps que l'usine génératrice et qui constitue le centre de réception et de distribution de toute l'installation électrique de la Homestake mining Company. Chaque ligne pénétrant ou sortant du bâtiment est pourvue de disjoncteurs automatiques dans l'huile, actionnés électriquement et commandés à distance. La sous-station est équipée en tranformateurs de tous types capables de fournir toutes les tensions nécessaires.

Aussitôt après l'achèvement de l'usine de Spearfish, on procéda à l'électrification des trois derniers moulins comprenant en tout 660 bocards; ensuite, ce fut le tour des concasseurs tournants installés aux différents étages des puits.

Le rôle de ces appareils est de réduire le minerai en morceaux capables de passer à travers un trou de 7,6 cm de diamètre; comme le minerai extrait des Montagnes Noires est très dur, on considérait cette transformation comme hasardeuse ; mais des essais préliminaires montrèrent que des moteurs d'induction de 35 ch à rotor bobiné étaient capables de répondre à toutes les exigences et on remplaça définitivement la machine à vapeur Corliss et la commande générale par des moteurs électriques individuels. En même temps, on substituait aux machines de secours à vapeur une usine génératrice thermique destinée à suppléer à l'insuffisance de l'usine hydroélectrique de Spearfish.

L'électrification des pompes d'épuisement a demandé un effort considérable. Jusqu'en 1902, ces pompes situées à à 240 m de profondeur étaient actionnées par une machine à vapeur installée à l'ouverture du puits B et M. Ce puits ayant été creusé jusqu'à 330 m, un nouveau poste de pompage fut installé à un étage inférieur et à proximité de l'un des puits (il y a deux puits principaux, le puits Ellison et le puits B et M). La vapeur était fournie par une chaudière installée au jour et était transmise par un collecteur jusqu'au moteur à vapeur d'entraînement.

Mais en 1913, on décida d'équiper électriquement cette partie de la mine. On choisit des pompes d'exhaure du type centrifuge à trois étages, d'un débit de 4 563 l : mn pour une hauteur de refoulement de 98 m. Chaque pompe est directement accouplée à un moteur d'induction à rotor bobiné de 125 ch, 2 200 v, 1 740 t : mn; le moteur est contrôlé par un mécanisme actionné par le flotteur du puisard de chaque pompe. Jusqu'à la profondeur de 420 m, les pompes sont logées dans le puits B et M; au delà, elles sont placées dans le puits Ellison. Pour les petites profondeurs, on a trouvé que des moteurs à cage d'écureuil étaient suffisants.

L'eau nécessaire au lavage des minerais était fournie par une station hydraulique située à 10 miles de Lead et bâtie longtemps avant que la transmission de l'énergie électrique eût pris quelque extension; l'exploitation à la vapeur était particulièrement onéreuse en raison surtout des frais occasionnés par le transport du charbon.

L'introduction de 5 groupes moteur-pompe a singulièrement amélioré la marche de cette installation qui comprend : 3 pompes centrifuges accouplées directement à des moteurs d'induction à rotor bobiné de 300 ch, 2 200 v, capables

d'élever 9 000 litres d'eau à 120 m de hauteur par minute, puis 2 pompes centrifuges entraînées par des moteurs de 150 et 75 ch capables d'élever respectivement 4 500 et 2 250 litres d'eau par minute à la même hauteur ; on associe ces groupes suivant les besoins, de sorte qu'il en reste toujours quelques-uns comme réserve. Dans tous les cas, pour une marche continue de vingt-quatre heures, la quantité d'eau débitée peut atteindre 48 000 m³.

L'usine génératrice à vapeur dont il a été question plus haut a été inaugurée en 1916; elle est située à cheval sur la route venant de la sous-station de Lead et comprend deux groupes turboalternateurs composés chacun d'une turbine de 1 800 kw et d'une génératrice de 1 500 kv-a, 2 300 v, 3 600 t : mn.

Au début de l'année 1918, on a mis en service l'usine hydroélectrique n° 2 édifiée sur le ruisseau de Spearfish à 10 miles en amont de la vallée où se dresse l'usine génératrice n° 1. L'aménagement des deux usines est à peu près le même ; il ne diffère que par la hauteur de chute qui est abaissée à 165 m pour l'usine n° 2 et par la substitution d'une canalisation en bois de 4,7 miles de longueur et 132 cm de dinmètre au tunnel qui amène les eaux à la chambre de mise en charge.

Quelques années plus tard, on élimina les machines à vapeur des compresseurs fournissant de l'air à la pression de 63,4 kg : cm² et on les remplaça par des moteurs synchrones de 750 ch et 2 200 v qui entrainaient les compresseurs par des câbles passant sur des poulies à gorges montées à la place des volants. On inaugura de même la commande électrique sur les deux plus petites machines d'extraction dont les treuils étaient jusqu'ici attaqués par engrenages au moyen de machines à vapeur, à cylindres jumelés ; on supprima les bielles et les boutons de manivelle et enfin on vissa, sur l'un des plateaux manivelles de chaque groupe, une roue dentée qui s'engrenait avec une autre roue dentée adaptée à l'arbre d'un moteur de 200 ch, 2 200 v.

Une modification des autres compresseurs à 6,34 kg : cm² aurait demandé trop de dépenses et, d'autre part, l'encombrement eût été exagéré ; on les a purement et simplement remplacés par des appareils commandés par des moteurs synchrones dont la puissance varie de 500 à 1 000 ch.

Au cours de l'année 1921, on mit au point une nouvelle machine d'extraction électrique de grande puissance et un nouveau concasseur de minerais. La machine d'extraction est du type à courant continu avec dispositif Ilgner-Léonard ; les deux treuils cylindriques de 3 m de diamètre, sont fixés sur un arbre directement accouplé à un moteur de 1 400 ch qui, à pleine vitesse, exécute 63,5 t : mn, ce qui communique au câble une vitesse de 600 m : mn sur les treuils. Le courant continu est fourni par un groupe moteur-générateur comprenant un moteur d'induction de 1 200 ch, 2 200 v, à rotor bobiné couplé directement à une génératrice à courant continu de 1 100 kw et à un volant de 30 t ; sur l'arbre du moteur est également fixée l'excitatrice qui alimente à la fois l'excitation de la génératrice et celle du moteur de la machine d'extraction. La puissance absorbée par ce dernier est réglée par un rhéostat liquide à curseur actionné par un petit moteur qui est branché sur le secondaire d'un transformateur de courant intercalé sur les conducteurs du stator. La machine d'extraction et le groupe convertisseur sont munis d'un équipement complet de dispositifs automatiques de sécurité ; par exemple, il est impossible d'élever une cage ou une benne jusqu'aux molettes, ni de les abaisser jusqu'aux puisards ; et s'il y a dépassement de la vitesse normale, aussitôt les dispositifs de ralentissement ou d'arrêt entrent automatiquement en jeu.

Le lourd volant du groupe moteur-générateur se justifie par la nécessité de faire face aux à-coups du moteur d'extraction tout en maintenant la demande de puissance au réseau à un taux pratiquement uniforme. La puissance exigée pendant la période d'accélération, pour une hauteur de levage de 660 m, est de 2 500 ch ; elle tombe brusquement à 1 350 ch dès que la pleine vitesse est atteinte, puis diminue progressivement pendant tout ce régime jusqu'à 600 ch, ce qui marque le point de départ de la période de ralentissement. Au lieu de recourir aux freins, on fait travailler le moteur en génératrice qui alimente le groupe à volant. Au début du ralentissement, la récupération atteint 1 050 ch ; ensuite elle baisse graduellement pour tomber à zéro en même temps que le système s'arrête, ce qui fait une variation de + 2 500 ch à — 1 050 ch, ou 3 550 ch. On a calculé que, lorsque l'extraction atteindra 960 m de profondeur, la variation sera de 3 900 ch. Il est évident que de pareils écarts ne sauraient être tolérés que sur un réseau très puissant et que, par conséquent, le réseau de la compagnie ne pouvait assurer le fonctionnement d'une machine d'extraction de cette importance que grâce à l'appoint d'un groupe compensateur.

Le minerai extrait est soumis aux opérations suivantes : il subit un premier concassage au puits Ellison à l'aide d'appareils munis de larges mâchoires et entrainés par des moteurs de 125 ch, 2 200 v, à rotor bobiné ; les cailloux obtenus sont rassemblés dans des trémies d'où ils sont repris par une machine actionnée à la main, mais qui, automatiquement, mesure la charge exacte, 7 t environ, qui est ensuite déversée dans les bennes. Arrivées au jour, celles-ci basculent automatiquement leur contenu dans une trémie qui alimente des convoyeurs dont l'office est de transporter le minerai à un système de tamis et de concasseurs qui réduisent les morceaux trop gros ; au sortir de ces derniers concasseurs, le minerai tombe dans une nouvelle trémie disposée au-dessus des wagonnets qui acheminent le minerai vers les halls de bocardage.

En 1922, on a mis en service un nouveau moulin qui représente probablement l'installation la plus puissante et la plus moderne pour le broyage des minerais d'or ; par suite, on a pu supprimer les vieux moulins désuets et, en concentrant les opérations sur un espace plus réduit, on est parvenu à réaliser de sérieuses économies.

Toutefois, le bocardage seul ne suffit pas à l'obtention d'un sable assez fin ; on termine le broyage dans des machines à rouleaux et c'est dans celles-ci que l'on verse le mercure au lieu de le malaxer dans les mortiers des bocards. Le reste des manipulations se fait comme à l'ordinaire. Dans ce moulin, les bocards sont plus lourds et accouplés par batteries de 5 éléments seulement, entraînées par des moteurs de 25 ch par l'intermédiaire d'engrenages ; l'équipement complet comprend 24 batteries et 8 pulvérisateurs à rouleaux commandés par des moteurs de 100 ch à rotor bobiné. Les rouleaux ont des diamètres jusqu'à 7,6 cm ; ils sont en acier dur de sorte qu'ils se brisent en petits morceaux quand ils deviennent minces, au lieu de se tordre.

Enfin, l'auteur signale encore des meules en pierre ou des boules en acier qui réduisent le sable trop grossier ayant pu échapper aux broyeurs à rouleaux ; ces appareils sont mus par des moteurs de 35 ch à rotor bobiné.

3. Installations accessoires. — Un ventilateur capable de déplacer 6 370 m³ d'air par minute sous la pression égale à

celle d'une colonne d'eau de 11 cm est installé à la surface ; il est entraîné par courroie par un moteur d'induction à cage d'écureuil de 300 ch, 2 200 v et peut, à volonté, aspirer ou refouler de l'air dans le puits ; il suffit pour cela, d'agir sur les portes de la cabine.

On n'a pas reconnu avantageux d'électrifier les perforatrices, ni le chemin de fer à voie étroite (gabarit, 45,4 cm) qui dessert la mine.

Les feeders relatifs la force motrice sont distincts des feeders d'éclairage. Les premiers ont une section de 178,5 mm² et les seconds correspondent au n° 2 (6,54 mm de diamètre) de la jauge B and S. Les conducteurs qui constituent les câbles sont isolés au caoutchouc, recouverts d'une couche de ruban, puis torsadés et assemblés avec du jute ; finalement, le tout est entouré d'une armure en fils d'acier galvanisés, protégée encore par une couche de jute. Les deux circuits distribuent du courant triphasé à la tension de 2 300 v et alimentent trois centres de distribution d'une sous-station ; tous les câbles sont d'une seule longueur et sont respectivement déviés vers chaque sous-station à l'aide de poulies de renvoi. L'auteur signale que leur fixation au moyen de crampons a exigé beaucoup de précautions en raison de leur masse considérable ; le plus lourd pèse 5 490 kg.

Les cabines des sous-stations sont enduites de béton et munies de portes en treillis d'acier qui sont toujours fermées ; chacune a un jeu de barres omnibus à 2 300 v pour la force motrice et un autre, à la même tension, pour l'alimentation des transformateurs d'éclairage. Tous les feeders sont reliés à leurs barres omnibus par des sectionneurs ; tous les conducteurs de distribution branchés sur ces dernières traversent également des sectionneurs et des fusibles à expulsion ; ils sont isolés au caoutchouc et logés dans des conduits en fer fixés au moyen de crampons dans le puits.

Là où il est nécessaire de recourir à des boîtes de jonction, par exemple, pour l'alimentation des étages intermédiaires, les conduits pénètrent dans les boîtes ; quant aux fils verticaux qui en émergent, ils sont soutenus par des pinces en bois vissées sur les saillies des boîtes. Les petits moteurs reçoivent du courant à la tension de 220 v qui est fourni par des transformateurs spéciaux installés dans les sous-stations. Les lampes à incandescence fonctionnent à la tension de 110 v.

L'auteur donne ensuite des renseignements assez détaillés sur le développement du réseau téléphonique qui est très étendu, mais dont l'aménagement n'offre rien de particulier.

IV. Conclusion. — L'électrification des mines des Montagnes Noires ressortissant à la Homestake mining Company n'a pas seulement permis de maintenir cette installation à un niveau moderne, mais encore et surtout de réduire considérablement les frais d'exploitation. La question d'économie a une importance vitale pour les sociétés adonnées à l'extraction de l'or, car, tout en ne redoutant aucune concurrence, le prix de leur produit est resté le même aujourd'hui que jadis, alors que la main-d'œuvre et les matières premières ont renchéri beaucoup au cours de ces dernières années. Le minerai dont il s'agit ici est plutôt de qualité médiocre ; son rendement n'est que de 4,6 dollars par tonne élaborée ; aussi faut-il le traiter sur une vaste échelle et de façon économique si l'on veut rendre son exploitation rémunératrice. Dans les moulins et leurs dépendances, le travail est continu, c'est-à-dire que toute l'exploitation se poursuit 24 heures par jour et chaque jour de l'année. — B. C.

Transmission simultanée de courants triphasé et monophasé par superposition de ces conrants sur lignes communes (exploitation sous double fréquence) (1).

1. Introduction. — Le mode de distribution étudié dans cet article a pour but de permettre la réalisation d'une importante économie dans les frais de premier établissement des lignes de transmission, partout où l'alimentation de la traction se fait en courant monophasé à une fréquence de 16.66 p : s, et celle des réseaux industriels, en courant triphasé à 50 p : s. Au lieu de transformer les fréquences, l'auteur s'est proposé de les superposer. Or, les caractéristiques de cette superposition de courants à 50 p : s et à 16,66 p : s sont les suivantes : les valeurs moyennes des courants ou tensions monophasés et triphasés s'ajoutent arithmétiquement et les valeurs efficaces des courants, par exemple, I_1 et I_{III}, donnent une résultante I_r qui a pour expression

$$I_r = \sqrt{I_1^2 + I_{III}^2}.$$

En ce qui concerne les chutes de tension en ligne et les pertes d'énergie dues à chacun des deux systèmes, elles sont indépendantes les unes des autres. Nous ne donnons ici que le principe de cette solution dont l'auteur expose dans son article quelques applications à des cas particuliers.

2. Schéma et principe de la distribution. — La transmission du courant triphasé s'effectue de gauche à droite (fig. 1) comme à l'ordinaire ; à gauche sur la figure 1, on remarque l'alternateur et le transformateur élévateur de

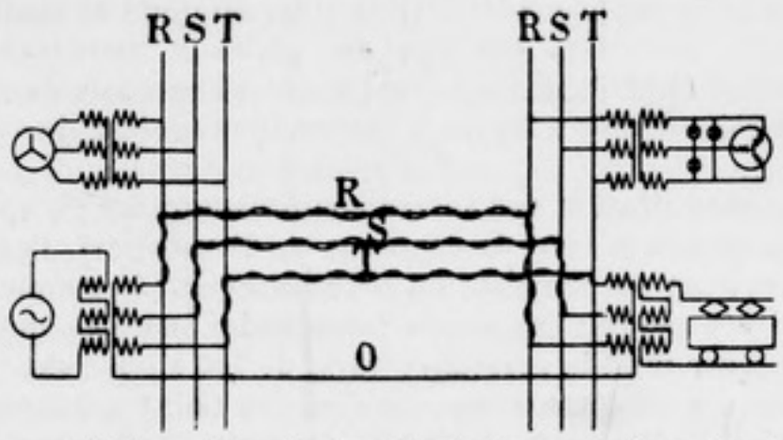


Fig. 1. — Schéma de principe de la transmission simultanée, par lignes communes, de deux courants de fréquences différentes.

tension, qui est connecté à des barres et celles-ci sont reliées aux barres d'arrivée à droite où l'on retrouve un transformateur, abaisseur de tension.

En ce qui concerne le courant monophasé, on remarque à chacune des deux extrémités de la ligne triphasée un système de bobines triphasé en étoile, le point commun constituant le point neutre. Ces bobines sont enroulées sur un noyau de fer, ainsi que trois bobines secondaires qui, elles, sont couplées en série et forment un circuit fermé, au départ, avec l'alternateur à courant monophasé, à l'arrivée avec le réseau à alimenter. Les points neutres du système triphasé sont reliés entre eux et constituent le quatrième fil de la transmission.

On conçoit que les forces électromotrices triphasées induites dans les trois enroulements du transformateur reliés à l'alternateur à courant monophasé s'annulent, tandis que ces trois enroulements créent par induction dans

(1) Ernst Jacob. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 7 octobre 1929, t. XX, p. 645-652, 3 000 mots, 11 figures.

chacun des trois enroulements triphasés une force électromotrice monophasée qui se superpose à la force électromotrice triphasée existante et qui crée un courant dans le circuit formé par les trois lignes R, S, T, en parallèle, et par le fil O, qui est le fil neutre de la distribution triphasée.

3. Répartition des tensions. — Sans examiner ici les différents cas envisagés par l'auteur dans son article, nous ferons simplement ressortir la valeur que peut atteindre la tension monophasée ponr une transmission sur une ligne triphasée prévue pour une tension triphasée donnée. S'il s'agit, par exemple, d'une ligne dont le neutre n'est pas relié au sol, sur laquelle la tension de transmission est de 110 kv, soit 64 kv entre la ligne et le sol, il est possible, sans crainte pour l'isolement de la ligne, d'admettre une tension monophasée de 60 kv; en effet, le quart de sa valeur représente la tension sur chacun des fils de ligne R, S, T et les trois quarts de sa valeur, la tension sur le fil neutre O, soit donc une tension de 15 kv monophasée qui se superpose à la tension triphasée, tandis que l'isolement du fil neutre doit être prévu pour la tension de 45 kv.

Si le neutre du réseau triphasé est relié à la terre par l'intermédiaire de bobines d'inductance, on peut admettre que, pour le système monophasé, les trois lignes triphasées se trouvent au potentiel zéro tandis que seul le quatrième conducteur est sous la tension de service du système monophasé.

4. Conclusion. — Après avoir exposé les solutions envisagées dans certains projets d'application de ce système en Allemagne, notamment par la Reichsbahn Direktion à Stuttgart, l'auteur calcule l'économie que permet de réaliser l'exploitation par la superposition des deux courants monophasé et triphasé comparée à celle par lignes séparées. L'économie sur les frais de premier établissement est de l'ordre de 25 pour 100 environ ; au point de vue des frais d'exploitation, il y a lieu de tenir compte de la réduction des pertes par effet Joule. — A. C.

Le câble SO (1).

Ce nouveau câble doit son nom à son inventeur M. Sonnenfeld qui l'étudia au laboratoire de la fabrique de câbles de Bratislava. Le principe consiste à donner aux conducteurs la section minimum compatible avec un bon isolement; c'est ainsi qu'un câble triphasé à trois conducteurs se présente sous une section triangulaire aux angles arrondis. Cette fabrication s'applique actuellement aux câbles armés et aux conducteurs cuirassés. Ces nouveaux câbles peuvent être fabriqués sur les mêmes machines et avec les mêmes méthodes que les conducteurs ronds; il présentent d'autre part une série d'avantages sur les câbles ronds. Dans la nouvelle fabrication, l'isolant de remplissage entre conducteurs est réduit au minimum, ce qui entraîne une économie appréciable sur la gaine de plomb et sur le feuillard extérieur.

Les qualités électriques du câble SO sont au moins aussi bonnes que celles du câble rond.

La comparaison des courbes d'ionisation pour les deux genres de câbles, l'examen des courbes donnant les pertes en centièmes en fonction de la tension appliquée, et la résistance à la surtension en fonction du temps permettent de s'en rendre compte.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, un conducteur de section triangulaire s'enroule très facilemeut sur un touret. Pour une même longueur, le câble SO présente sur le câble rond une diminution de poids de 14 pour 100 pour les câbles ordinaires et de 13 pour 100 pour les câbles armés. Cette diminution de poids a permis d'augmenter la longueur normale de fabrication de chaque touret. On économise ainsi à la pose une boîte de raccordement sur huit. La flexibilité du câble SO est 15 pour 100 fois plus grande que celle d'un câble rond.

Les résultats indiqués au tableau I permettent de constater que cette augmentation de flexibilité n'altère pas les qualités du câble au point de vue de ses propriétés diélectriques.

Tableau I. — *Tensions disruptives comparées des câbles rond et SO, avant et après flexion.*

TENSION DISRUPTIVE	AVANT FLEXION	APRÈS FLEXION
Câble rond	64 kv (10 essais)	60 kv (7 essais)
Câble SO	64 kv (11 essais)	60 kv (9 essais)

Les effets d'induction sont les mêmes pour les câbles SO que pour les câbles ronds. La forme du câble SO permet un meilleur refroidissement que la forme ronde; des essais portant sur des câbles posés et dont les résultats sont consignés dans le tableau II ont vérifié cet avantage.

Tableau II. — *Élévations de température des câbles SO et des câbles ronds dans les mêmes conditions de pose et après l'établissement de la température de régimes.*

CABLES	COURANT en ampères	CONDITIONS de pose	ÉLÉVATION DE température en degrés centésimaux		DIFFÉRENCE en centièmes
			câbles rond	SO	
3×95 mm² 30 kv armé	200	enterré	18,8	17,4	8
3×50 mm² 27 kv imprégné	140	enterré	22,6	21	7,3
3×35 mm² 66 kv imprégné	140	enterré	30,8	29,2	5,2
3×95 mm² 27 kv non armé	300	immergé	19,9	16,5	17,2
3×95 mm² 27 kv armé	300	immergé	29,7 29,5	27,6 27	7,5 9,2

L'emploi du câble SO permet de réaliser des économies sur le prix d'achat, sur la pose et en exploitation. — M. C.

Une analyse critique des installations des services auxiliaires des usines génératrices à vapeur (1).

La question des installations des services auxiliaires dans les usines génératrices à vapeur n'a pas toujours reçu jusqu'ici l'attention que leur importance, au point de vue de la continuité de marche de l'usine, aurait dû lui valoir. Le moment semble venu de les étudier de façon systématique

(1) Konstantinowsky; *Elektrotechnik und Maschinenhau*, 8 septembre 1929, t, xlvii, p. 778-783, 2 100 mots, 16 figures.

(1) M.-M. Samuels. *Electrical World*, 9 novembre 1929, t. xciv, p. 921-924, 3500 mots, 4 figures.

et dans ce but, l'auteur examine les différents problèmes ainsi soulevés, discute les méthodes appliquées et indique les perfectionnements à envisager pour l'avenir.

1. Considérations économiques. — Dans la recherche toujours plus poussée de la production du kilowatt-heure pour un minimum de quantité de chaleur, on a souvent sacrifié la sécurité de marche des machines auxiliaires; mais cette économie n'est que factice, l'arrêt dû à une avarie de machine auxiliaire pouvant annuler les économies réalisées sur la consommation de vapeur. Donc, en ce qui concerne les machines auxiliaires, la recherche de la sécurité de marche doit passer avant celle du rendement thermodynamique.

2. Source d'énergie. — A l'origine, les moteurs électriques entraînant les machines auxiliaires étaient alimentés à partir des barres générales de l'usine par l'intermédiaire d'un ou plusieurs groupes de transformateurs abaissant la tension à la valeur convenable. Cette méthode entraînant des frais trop élevés lorsque la tension aux barres générales dépasse 66 000 v, on a dans certaines installations branché un transformateur auxiliaire directement sur chaque unité génératrice, tous ces transformateurs étant mis en parallèle du côté de la basse tension. Des interrupteurs branchés entre chaque transformateur et l'unité génératrice, et sur le côté de la basse tension permettent une protection différentielle. Un autre système également employé comporte l'emploi de barres de transfert des machines génératrices et de commutateurs verrouillés de façon telle qu'une seule machine génératrice à la fois puisse être branchée sur ces barres. Tous ces systèmes ont d'ailleurs en commun l'inconvénient de répercuter sur l'alimentation des machines auxiliaires toutes les fluctuations du réseau alimenté par l'usine génératrice. Parmi les autres moyens de production de l'énergie nécessaire aux machines auxiliaires, nous ne ferons que citer les groupes auxiliaires turbogénérateurs. L'emploi de machines génératrices montées en bout d'arbre des groupes générateurs principaux est le plus récent et semble particulièrement intéressant, selon l'auteur. Bien entendu il faut toujours prévoir un groupe générateur auxiliaire soit à vapeur et marchant sans condensation, soit de préférence avec moteur Diesel pour permettre la remise en route de l'usine après un arrêt total.

3. Tension. — On emploie actuellement des moteurs si puissants, qu'il serait logique d'employer une tension de 6 000 volts, mais, dans la grande majorité des cas, la tension de 2 300 v est celle qui convient le mieux pour alimenter les moteurs des machines auxiliaires, la construction actuelle permettant d'établir pour cette tension des moteurs jusqu'à 25 ch seulement. Pour les moteurs de moindre puissance l'auteur conseille l'emploi de transformateurs séparés plutôt que d'un troisième enroulement sur les transformateurs alimentant le réseau propre de l'usine. Quant aux tensions de 550 v et 440 v, elles ne sont guère pratiques, car elles présentent un danger aussi grand qu'une tension de 2 300 v, et cependant, on a tendance à les traiter comme de la basse tension. L'auteur conseille donc d'adopter 220 v. Pour les moteurs à courant continu on emploie en général une tension de 250 volts et quelquefois aussi de 550 volts.

4. Moteurs et appareillage. — L'auteur estime qu'il est possible de se procurer maintenant des moteurs à cage d'écureuil avec démarrage direct sur la ligne, pratiquement pour toutes les tensions et puissances. Le problème des moteurs à vitesse variable n'a pas encore reçu de solution définitive, en ce qui concerne les applications envisagées. Pour les moteurs des grilles, on emploie presque exclusivement des moteurs à courant continu alimentés par des groupes moteurs-générateurs. Pour les ventilateurs on utilise soit des moteurs d'induction à réglage de la vitesse par rhéostat, soit des moteurs à collecteur à réglage de la vitesse par décalage des balais, le choix entre les deux systèmes étant une question d'espèce. L'auteur suggère l'emploi, comme dans les ascenseurs, d'un moteur à courant continu avec son groupe moteur-générateur pour chaque ventilateur.

Quant à la commande de ces moteurs, elle peut être effectuée par boutons poussoirs placés à côté de chaque moteur ou réunis sur un tableau central de commande.

5. Systèmes de connexion des moteurs. — A l'origine, l'alimentation des moteurs auxiliaires était réalisée sans plan d'ensemble. Depuis, la charge représentée par les machines auxiliaires dans les grandes usines génératrices devenant de plus en plus importante, on a eu l'idée d'établir dans diverses parties de l'usine des sous-stations qui sont alimentées par des feeders venant des barres générales auxiliaires de l'usine.

Considérant, d'autre part, que si dans un groupe de machines auxiliaires nécessaires à la marche d'une partie d'une unité génératrice, une de ces machines vient à faire défaut, il faut, le plus souvent, arrêter les autres, et que les machines auxiliaires importantes sont toujours au moins en double, l'auteur propose de supprimer tout appareillage automatique individuel par moteur et de n'en placer que par groupe de moteurs, cet appareillage étant réglé de façon à ne fonctionner qu'au cas où un moteur est brûlé ou en cas de court-circuit dans un câble. Ce sont d'ailleurs des événements assez rares et il apparaît extravagant de prévoir avec chaque moteur un appareillage dont le coût est plus élevé que celui du moteur; il est d'ailleurs à peu près impossible de prévoir au début de l'élaboration d'un projet une liste correcte et complète des appareils auxiliaires.

6. Appareils de mesure. — D'après l'auteur, la pratique a prouvé qu'il est tout à fait superflu de prévoir des appareils de mesure, enregistreurs ou non, soit dans les circuits de chaque moteur ou dans ceux de groupes de moteurs, ces appareils n'étant presque jamais consultés. Ce qu'il importe seulement de connaître, c'est la dépense totale en énergie de l'ensemble des machines auxiliaires. On pourrait donc supprimer ces appareils en prévoyant la possibilité d'en brancher temporairement dans le circuit de chaque moteur, par exemple aux boîtes de raccordement qui devraient être étudiées en conséquence et pourraient même être fournies avec le moteur.

7. Cables. — En général, les câbles sont enterrés et sont des câbles sous plomb. Dans certains cas, faute d'espace pour installer des boîtes d'entrée de câbles, on utilise des câbles sous caoutchouc au lieu de câbles sous papier ou sous toile imprégnée. Jusqu'à 2 300 v les câbles sous caoutchouc donnent toute satisfaction. L'auteur considère que les prescriptions du National electric Code, qui sont bien appropriées aux applications industrielles sont trop strictes dans les questions des traversées de câbles dans les usines génératrices. Il préconise donc une revision de ce code en vue de quelques modifications. — J. S.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société générale d'Entreprises

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1929.

Les rapports présentés à l'assemblée générale de cette société, au capital de 40 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, donnent les renseignements suivants sur l'activité de la société pendant l'exercice terminé le 30 juin 1929 et sur les résultats financiers de cet exercice.

La situation de la société, que le rapport de l'an dernier (1) considérait comme satisfaisante, a continué à s'améliorer; d'une part, la charge des escomptes et agios a disparu du compte de profits et pertes; d'autre part, le carnet de commandes ne marque aucun fléchissement et les affaires en cours s'exécutent dans des conditions favorables.

Pour l'exploitation du produit dénommé « Colas » et destiné à la confection des routes, la société a procédé à la constitution d'une société spéciale, au capital de 7 500 000 fr, dans laquelle elle a conservé une participatiou importante.

La situation des sociétés auxquelles la Société générale d'Entreprises est intéressée, est satisfaisante. Ces sociétés sont : Energie électrique du Nord de la France qui a distribué un dividende de 17 pour 100; Compagnie électrique de la Loire et du Centre dont le dividende a été de 8 pour 100; Société d'Applications industrielles dont les actions ont rapporté 17 pour 100; Société française d'Entreprises qui a donné un dividende de 147,50 fr contre 40 fr l'an dernier; Société générale d'Entreprises au Maroc dont le dividende est passé de 161,25 fr à 253,85 fr; Compagnie générale des Colonies qui a porté son dividende de 7 à 8 pour 100; Société des Forces motrices de la Truyère dont les travaux d'aménagement s'exécutent dans les conditions prévues; Central électrique du Nord, qui, bien qu'ayant porté son capital de 5 à 10 millions de francs, a maintenu son dividende à 7,5 pour 100. Toutefois les affaires italiennes dans lesquelles la société est intéressée subissent une crise grave.

L'examen du bilan montre que, à l'actif, le compte débiteur divers a augmenté de 7 123 196,08 fr et celui des entreprises en cours de 4 857 619,59 fr; ces deux comptes comprennent les sommes dues par les clients sur les affaires terminées et les sommes engagées sur les travaux en cours d'exécution. Il y a également augmentation du compte participations, pour 5 443 126,42 fr. Au passif, le compte entreprises en cours accuse une augmentation de 10 833 455,84 fr.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 8 216 202,66 fr, comprenant : report de l'exercice précédent, 109 010,13 fr; produits d'exploitation, 4 365 197,77 fr; intérêts, revenus et divers, 3 741 994, 76 fr. Le débit comprend : frais généraux, 969 447,79 fr; impôts divers, 1 651 016,76 fr; coupons d'obligations, 1 004 418,57 fr; amortissement des pertes, 2 569 035,70 fr.

Le solde bénéficiaire ressort ainsi à 2 022 283,84 fr. Sur cette somme, 2 millions de francs sont affectés à la réserve générale; le reste, soit 22 283,84 fr est reporté à nouveau.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Immeubles et installations	661 829,17
Mobilier et agencement	1 »
Apports	1 »
Frais de constitution	1 »
Prime de remboursement des obligations	465 526,65
Affaires à l'étude	503 569,05
Matériel	490 004 »
Stocks et magasins	1 403 680 »
Débiteurs divers	42 715 633,52
Entreprises en cours	9 371 849,56
Portefeuille	22 560 658,26
Participations	20 926 596,06
Cautionnements	287 709,50
Effets à recevoir	2 184 138,74
Caisses et banques	9 616 403,50
	111 187 601,01

Passif.

	fr
Capital	40 000 000 »
Réserve légale	1 253 584,86
Réserve générale	5 000 000 »
Provision pour études	600 000 »
Fonds spécial de prévoyance appartenant aux actionnaires	400 000 »
Obligations à 6 pour 100	8 969 000 »
id à 6,5 pour 100	7 087 000 »
Créditeurs divers	19 721 236,75
Entreprises en cours	21 285 928,27
Effets à payer	4 455 134,86
Coupons à payer	393 432,43
Report de l'exercice antérieur	109 010,13
Bénéfices de l'exercice 1928-1929	1 913 273,71
	111 187 601,01

Société générale de Force et Lumière.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 18 DÉCEMBRE 1929.

Des rapports présentés aux actionnaires de cette société, au capital de 125 millions de francs et dont le siège social est à Grenoble, 37, rue Diderot, nous extrayons les renseignements qui suivent concernant l'exercice 1928-1929.

La quantité d'énergie électrique distribuée au cours de cet exercice dépasse d'environ 12 pour 100 celle distribuée pendant l'exercice précédent. Cette augmentation a néces-

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 9 mars 1929, t. XXV, p. 389.

sité une mise à contribution importante de l'usine thermique d'Oullins. En vue de diminuer dès cette année cette contribution, la société s'est assurée auprès de la Compagnie bourguignonne de Transport d'Energie la fourniture d'une certaine quantité d'énergie qui sera mise à sa disposition dès le printemps prochain; plus tard, les nouvelles usines hydrauliques de Bioge et de Pizançon seront mises à contribution; en outre, la société se préoccupe dès maintenant de l'aménagement de nouvelles chutes d'eau et de l'augmentation de la puissance installée dans certaines de ses usines.

Les sociétés filiales et les sociétés dans lesquelles la Société générale est intéressée ont donné dans l'ensemble satisfaction. La Société foncière et industrielle du Rhône a obtenu la concession d'Etat qu'elle avait demandée. La Société hydroélectrique de l'Eau d'Olle a pu augmenter ses fournitures d'énergie à la société, n'ayant plus à livrer de l'énergie à un tiers en exécution d'un contrat arrivé à expiration. La Société du Grand-Doron a mis en marche son usine de La Perrière au mois de juillet 1928. La Société Energie électrique Isère-Vercors poursuit l'aménagement de la chute de Pizançon. La Société hydroélectrique de la Basse-Romanche poursuit activement ses études en vue de de l'aménagement d'une chute.

Une participation prépondérante a été prise par la Société générale de Force et Lumière dans la Société hydroélectrique des Dranses qui possède et exploite l'usine de Bonnevaux dans la Haute-Savoie. Elle a acquis aussi de larges participations dans différentes sociétés dont les entreprises sont situées dans sa zone d'action, notamment dans la Société anonyme d'Electricité du Bugey, la Compagnie savoisienne d'Electricité, la Société électrique de Chamonix et la Société Force et Lumière du Canton de Boëge. Enfin, des accords ont été passés avec les sociétés de distribution de la région lyonnaise, l'Energie industrielle, la Compagnie du Gaz de Lyon et la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône, en vue d'une électrification complète de cette région dans les meilleures conditions économiques.

L'examen du bilan montre une augmentation des postes suivants de l'actif : installations diverses, pour 11 millions 204 267,08 fr, augmentation due principalement à des installations complémentaires à l'usine du Grand-Doron, à l'usine d'Oullins et à l'extension des réseaux; magasin, outillage, mobilier, pour 2 199 483,51 fr, par suite de la mécanisation des services comptables de la société, du plus grand nombre de compteurs en location et d'approvisionnements plus importants; titres divers, pour 15 680 264 fr, par suite des nouvelles participations. Au passif, il y a augmentation de 10 529 500 fr des bons à court terme, augmentation de 5 392 600,21 fr des réserves et amortissements, diminution de 1 114 000 fr du compte de renouvellement et de gros entretien, augmentation de 13 789 160,38 fr du compte créanciers divers.

D'après le compte de profits et pertes, les recettes d'exploitation se sont élevées à 53 101 263,15 fr, en augmentation de 8 943 051,64 fr par rapport aux recettes de l'exercice précédent (1). D'autre part, les dépenses d'exploitation atteignent 26 501 381,33 fr en augmentation de 5 930 814,71 fr par rapport aux dépenses de l'exercice précédent. Le bénéfice brut d'exploitation est donc de 26 599 881,82 fr. Si on ajoute les produits du portefeuille et des comptes courants, soit 3 425 916,13 fr, on arrive à un total de 30 025 797,95 fr. Il y a lieu d'en défalquer les intérêts des obligations ainsi que les intérêts sur capitaux et comptes courants, soit au total 10 678 581,32 fr, pour obtenir le bénéfice brut de l'exercice, qui ressort à 19 347 216,63 fr contre 15 millions 589 657,17 fr pour l'exercice précédent, donnant une progression de 3 757 559,46 fr.

Le compte de profits et pertes laisse donc un solde de 19 347 216,63 fr, sur lequel sont prélevées les sommes suivantes : prime de remboursement des obligations, 48 695 fr; frais d'émission, 1 000 000 fr; compte général d'amortissement, 4 030 466,09 fr; renouvellement et gros matériel, 2 114 000 fr; soit au total 5 079 161,09 fr.

Les bénéfices nets de l'exercice ressortent alors à 12 millions 154 055,54 fr et sont répartis comme il suit : 5 pour 100 à la réserve légale, 607 702,77 fr; intérêt de 5 pour 100 au capital, 6 250 000 fr; au conseil d'administration, 529 635,28 fr; réserve de prévoyance, pour la porter à 13 000 000 fr, 1 195 288,95 fr; dividende supplémentaire au capital, 2 500 000 fr; parts de fondateur, 1 071 428,54 fr.

Les actions reçoivent ainsi un dividende de 7 pour 100, soit 17,50 fr par action, et les parts de fondateur 35,714 fr par part, payable sous déduction des impôts.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

		fr
Installations diverses		159 793 090,18
Terrains et chutes		1 005 638,09
Magasin, outillage, mobilier		12 153 970,80
Frais de constitution de la société et frais généraux de premier établissement		1 »
Frais d'émission		3 440 411,05
Titres divers		49 907 877,05
Banques et caisses		21 884 061,88
Débiteurs divers et comptes courants		86 057 218,70
Compte d'ordre après stabilisation		25 843 145 »
Prime de remboursement sur les obligations	3 837 490 »	
Moins amortissements	209 400 »	
		3 628 090 »
		363 713 503,75

Passif.

		fr
Capital actions		125 000 000 »
Obligations	94 541 000 »	
Moins amortissements	7 379 000 »	
		87 162 000 »
Différence de change sur amortissement de partie des obligations 4,5 et 5 pour 100. (Décision de l'assemblée générale des obligataires du 15 mars 1922)		25 843 145 »
Effets à payer		35 344 500 »
Réserve légale		3 603 411,59
Compte général d'amortissement		24 316 451,07
Réserve de prévoyance		11 804 711,05
Compte de renouvellement et de gros entretien		886 000 »
Créanciers divers et comptes courants		25 868 529,54
Coupons échus et titres amortis		4 537 538,87
Bénéfice de l'exercice 1928-1929		19 347 216,63
		363 713 503,75

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 février 1929, t. XXV, p. 269.

SECTION DE LÉGISLATION

Traité de concession intervenu entre la loi du 15 juin 1906 et le premier type du cahier des charges
Approbation préfectorale postérieure au 17 mai 1908

(Arrêt du Conseil d'État du 29 novembre 1929)

L'arrêt dont on trouvera ci-dessous le texte, complète d'une façon très précise la jurisprudence du Conseil d'Etat sur la validité des contrats administratifs qui sont soumis à une approbation spéciale. En donnant le commentaire de ce nouvel arrêt, l'étude que l'on va lire renvoie aux arrêts antérieurs qui déjà faisaient pressentir la décision récente du 29 novembre 1929.

I. **Observations générales et faits ayant donné lieu au procès.** — Agée aujourd'hui de 23 ans, la loi du 15 juin 1906 donne encore l'occasion aux juges administratifs de l'interpréter dans des circonstances assez délicates ; plusieurs décisions ont paru dernièrement au sujet de l'article 26 que l'on croyait avoir été écrit presque comme une clause de style, destinée à affirmer le principe si connu de la non-rétroactivité des lois : « Sont maintenues en leur forme et teneur les concessions et permissions accordées par des actes antérieurs à la présente loi ». Notamment, nous avons vu le Conseil d'Etat conserver intact le privilège donné antérieurement à la loi de 1906, pour la distribution de la force motrice aussi bien que pour celle de l'éclairage (1). Il ne faudrait pas, après une lecture superficielle de l'arrêt dont nous donnons ci-dessous le texte, croire qu'il revient sur ce principe ; il statue au contraire sur une hypothèse très nettement différente.

La ville de Villersexel et M. Blaise son concessionnaire pour la distribution du courant électrique avaient placé leur signature au bas d'un traité de concession de distribution de courant électrique. à la date du 20 janvier 1907 après avoir formulé leurs premiers accords le 23 décembre 1906 : on nous dispensera de faire remarquer qu'à cette date, la loi du 15 juin 1906 avait été promulguée et que certains de ses articles devaient être connus même des fonctionnaires chargés de la faire appliquer, notamment *l'article 8* qui, dans sa rigoureuse précision, interdit d'abord tout privilège (le premier alinéa est ainsi conçu « aucune permission ne peut faire obstacle à ce qu'il soit accordé des permissions de voirie ou une concession à une entreprise concurrente... ») et ensuite, le permet à titre exceptionnel, à la condition qu'il ne porte que sur l'éclairage; citons encore *l'article 6* dont le second paragraphe soumet toute concession aux clauses d'un cahier des charges conforme à l'un des types approuvés par décret délibéré en Conseil d'Etat et *l'article 7* dont le dernier alinéa réserve à un décret du Président de la République rendu en Conseil d'Etat l'approbation de tout cahier des charges qui contiendrait des clauses dérogeant au type approuvé ou le modifiant.

Or, si nous nous reportons aux mémoires respectivement déposés au Conseil d'Etat par les parties litigantes, le préfet de la Haute-Saône avait donné son approbation le 24 octobre 1908.

Et le traité qu'il approuvait était remarquable à deux points de vue : d'abord parce qu'il contenait une violation manifeste de la loi du 15 juin 1906 ensuite parce qu'il était absolument muet sur des clauses importantes qui figurent dans le type des cahiers des concessions municipales, donné par le décret du 17 mai 1908.

La clause violant la loi du 15 juin 1906 consistait dans le privilège exclusif octroyé aussi bien pour la distribution de la force motrice que pour celle de la lumière.

Et les clauses dont l'absence était remarquée, étaient

(1) Nous faisons allusion à l'arrêt du 8 avril 1927 (Compagnie de Gaz et d'Electricité du Mans et de Vannes) dont nous avons donné déjà le commentaire (voir le texte de l'arrêt dans le *Recueil des Arrêts du Conseil d'Etat*, année 1927, page 479, notre article dans la *Revue générale de l'Electricité* du 26 novembre 1927, p. 909). Nous avons fait remarquer que le Conseil d'Etat avait admis le recours pour excès de pouvoir d'une compagnie de distribution contre un arrêté du préfet de la Sarthe. qui n'avait voulu accorder une permission de voirie à un concessionnaire qu'en échange de la renonciation par celui ci au privilège octroyé par son contrat pour la force motrice. Mais il faut évidemment que ce privilège soit nettement accusé par le contrat, ce qui n'a pas lieu quand on ne trouve dans le contrat qu'une disposition assez vague comme celle-ci : « Le droit exclusif de construire sous la voie publique, tous les conducteurs et appareils nécessaires à la distribution et à l'exploitation de l'électricité dans la ville » (Voir arrêt du Conseil d'Etat du 30 octobre 1925, ville de Bort contre Société Energie industrielle, et son commentaire dans notre article paru dans la *Revue générale de l'Electricité* du 13 février 1926, t. XIX, p. 325).

celles que le cahier type groupe sous les articles relatifs à la nature du courant, sa tension, son mode de production, la réduction accordée aux services publics, les pénalités, le cautionnement, etc.

Deux réflexions s'imposent donc :

1° Le *préfet consacrait une violation de la loi* en approuvant un privilège exclusif. Nous avons déjà rencontré un fait identique qui a donné lieu, lui aussi, à un arrêt au Conseil d'Etat. Le Conseil municipal de la Ville de Blois avait accordé par une délibération du 7 septembre 1906, également postérieure à la loi du 15 juin, une concession avec privilège pour la force motrice, et cette délibération avait reçu l'approbation préfectorale. Le Conseil d'Etat, saisi du recours pour excès de pouvoir formé par un habitant de la commune, le sieur Lefebvre, contre cette délibération, l'a annulée (arrêt du 12 janvier 1918), ainsi que l'approbation qu'elle avait reçue du préfet de Loir-et-Cher. Nous aurons à faire observer plus loin que la décision du 29 novembre 1929 rendue sur la question très nettement posée devant le juge du contrat, a donné aux parties une solution bien plus catégorique que celle intervenue sur un simple recours pour excès de pouvoir.

Dans le cas qui nous occupe le Conseil d'Etat n'aurait pas hésité à consacrer sa jurisprudence de 1918, mais il pouvait, sans insister particulièrement sur ce fait, rendre une décision plus ample, en tenant compte d'un second fait.

2° *Le préfet commettait lui-même une violation de la loi en ne se déclarant pas incompétent pour approuver le cahier des charges*, qui à la date de la signature de l'arrêté d'approbation du 24 octobre 1908, devait lui apparaître comme non conforme au décret du 17 mai 1908, approuvant le premier type des concessions municipales. Sans doute, il n'avait pas à prendre parti sur la question de savoir si les dérogations, ou plus exactement les lacunes constatées dans le cahier des charges de Villersexel étaient graves ou non : il devait simplement dire « l'article 6 de la loi ne me permet d'approuver que des cahiers conformes à un type; je ne puis ignorer que ce type existe; je n'ai pas le droit d'imposer aux parties contractanies de refaire un nouveau cahier, je dois seulement les inviter à se pourvoir devant l'autorité supérieure qui, si elle approuve, validera leur consentement réciproque ».

Le Conseil d'Etat se borne à constater que le préfet ne pouvait pas approuver, qu'en conséquence l'approbation donnée par lui devient complètement inopérante, et le prétendu contrat, démuni de la formalité *essentielle* de l'approbation requise, n'a pu avoir pour effet juridique de donner au distributeur Blaise les droits « qu'un contrat régulièrement approuvé attribue à un concessionnaire d'une distribution municipale ».

Et comme le sieur Blaise avait soutenu dans son mémoire que la ville ayant exécuté la convention, l'ayant même ratifiée et complétée par un avenant du 30 août 1923, ne pouvait aujourd'hui en faire déclarer la nullité, le Conseil d'Etat répond : que, si certaine que soit cette exécution, elle ne saurait être de nature à accorder au contrat *une valeur définitive* : ce caractère ne pouvant provenir que d'une formalité d'approbation strictement réservée au Président de la République.

Cette sévérité du Conseil d'Etat, en ce qui concerne la nécessité d'une approbation pour décret dès qu'il existe une dérogation au cahier type, a déjà été affirmée par l'arrêt du 6 août 1928 (affaire Mouné contre Ville de Saint-Girons) (1). Mais dans cette affaire, la nullité de l'approbation préfectorale, c'est-à-dire l'absence de toute approbation, a tourné à l'avantage du concessionnaire qui s'était vu confisquer par la ville un cautionnement important, parce qu'il n'avait pas rempli certaines conditions énumérées au traité de concession et parce que ce traité prévoyait cette confiscation automatique dans certaines conditions : or l'attribution à la commune du cautionnement déposé par le concessionnaire ne peut avoir lieu, d'après le cahier type, que dans le cas où la déchéance a été prononcée. Il suffit de lire la dernière phrase de l'article 31 du cahier type : « En cas de déchéance, la « partie non restituée du cautionnement restera défi- « nitivement acquise à la commune ».

La situation du distributeur qui, contrairement à la confiance qu'il avait dans son titre, le voit devenir caduc, paraît être aujourd'hui celle d'un permissionnaire, c'est-à-dire d'un simple occupant du domaine public, sans privilège soit pour la lumière, soit pour la force motrice. Il ne peut peut être l'objet d'une contravention, car, même nulle au point de vue contractuel, une concession n'en constitue pas moins un titre d'occupation; mais il devient soumis à la loi du 27 février 1925, notamment en ce qui concerne le maintien, la péremption, le renouvellement des permissions et le rachat possible des installations simplement autorisées.

II. **Notions juridiques contenues dans l'arrêt du 29 novembre 1929.** — Il serait difficile de trouver un arrêt plus fertile en renseignements dont les techniciens de la concession peuvent faire leur profit.

1° On remarquera tout d'abord que l'instance a été entreprise, non point par la ville elle-même, mais par des contribuables de la commune, Chatelôt, Mirondot et autres, qui ont usé du droit que l'article 123 de la loi du 5 avril 1884 donne à tout contribuable de faire valoir en justice les droits qu'il estime appartenir à la commune. « Tout contribuable inscrit au rôle de la « commune a le droit d'exercer, à ses frais et risques, « avec l'autorisation du conseil de préfecture, les « actions qu'il croit appartenir à la commune ou sec- « tion et que celle-ci préalablement appelée à en déli- « bérer, a refusé ou négligé d'exercer. La commune « est mise en cause et la décision qui intervient, a

(1) P. Bougault; Inexistence d'une convention entre une commune et un concessionnaire, en opposition avec le cahier des charges types, Arrêt du 8 août 1928. *Revue générale de l'Electricité*, 27 octobre 1928, t. XXIV, p. 655-656.

« effet à son égard » (1). Ce mode de procéder est très normal et bien qu'il ne soit pas très fréquent, nous l'avons déjà vu employer plusieurs fois; il surexcite le zèle du maire qui, comme dans le cas présentement étudié, peut ensuite intervenir comme représentant de la commune. On sait combien la juridiction administrative est large et avec quelle facilité elle admet les interventions, pourvu qu'elles soient basées sur un intérêt sérieux. Nous assistons donc, en réalité, à une procédure assez étrange : une commune intervenant elle-même dans une instance engagée par des contribuables qui mettent en œuvre les droits qui lui appartiennent.

2° Le concessionnaire avait essayé d'opposer une fin de non recevoir à la demande des contribuables en prétendant, d'abord qu'ils auraient dû employer la procédure dite du recours pour excès de pouvoir contre l'approbation préfectorale pour en obtenir l'annulation et, ensuite, que ne l'ayant pas entreprise ils étaient déchus du droit de le faire indirectemant, les délais étant expirés.

« Si l'acte d'approbation, répond l'arrêt, n'a pas été déféré en Conseil d'Etat par la voie du recours pour excès de pouvoir, cette circonstance ne saurait priver l'une des parties de la faculté de se prévaloir devant le juge du contrat, pour contester la validité de la concession, de l'irrégularité dont serait entaché l'acte administratif dont s'agit. »

L'arrêt proclame que, quand un acte d'approbation est rigoureusement nécessaire pour donner la validité à un contrat municipal, la discussion sur la validité ou l'insuffisance de cet acte d'approbation se confond avec la discussion sur l'existence juridique du contrat. En d'autres termes, le contentieux de pleine juridiction qui est confié au juge normal du contrat (Conseil de Préfecture et Conseil d'Etat) prime le simple contentieux de l'annulation qui est assurée par le recours pour excès de pouvoir et on ne saurait interdire la discussion devant le juge du contrat, par ce fait que le contentieux de l'annulation n'a pas préalablement été mis en œuvre. Pendant longtemps même, sous le nom de « théorie du recours parallèle » aujourd'hui à peu près disparue (Voir l'ouvrage de M. Appleton, nos 320 et suivants) le contentieux de l'annulation était interdit aux demandeurs, dès que, pour leur permettre de se faire rendre justice, ils avaient la possibilité de saisir une autre voie.

Les plaideurs ne sauraient d'ailleurs se plaindre quand il leur est donné de triompher devant le juge du contrat, car leur succès est bien plus grand que devant la juridiction qui prononce simplement l'annulation. Un acte administratif étant annulé, il faut évidemment provoquer les conséquences que cette annulation comporte : car, ainsi que l'a fait remarquer avec une grande clarté M. Romieu dans ses conclusions données dans l'affaire Martin (Affaire du Conseil d'Etat du 4 août 1905), l'annulation ne peut porter que sur les actes administratifs en eux-mêmes et ne sauraient entraîner, ipso facto, la rupture du lien contractuel entre les parties... Si l'une des parties conteste la validité du contrat, en invoquant l'illégalité des actes administratifs sur lesquels ils reposent, tout le monde reconnaît qu'elle pourra saisir le juge du contrat... L'annulation n'aura et ne pourra avoir par elle-même aucun effet direct sur le contrat auquel le juge pour excès de pouvoir ne saurait toucher; les parties resteront liées, tant que le juge du contrat n'aura pas été saisi par l'une d'elles d'une demande en résiliation ou en indemnité... Si d'autre part, les parties n'entendent pas se prévaloir de l'illégalité constatée ou si le juge du contrat estime que les liens contractuels peuvent subsister nonobstant cette irrégularité, l'annulation aura toujours pour effet de dire le droit de censurer l'illégalité et de prévenir le retour de pratiques condamnées.

Les distributeurs d'énergie se feront une idée très exacte de la différence existant entre la critique d'un acte administratif considéré comme illégal et la demande en nullité d'un contrat, en lisant, après avoir pris connaissance de l'arrêt du 29 novembre 1929 dont ils trouveront ci-dessous le texte, l'arrêt du 12 juillet 1918 (affaire Lefebvre, *Recueil du Conseil d'Etat*, p. 698). Cet arrêt remarque tout d'abord que Lefebvre se basait sur l'article 63 de la loi du 5 avril 1884, sur l'article 65 et sur l'article 67 (1). Le premier de ces articles déclare nulles de plein droit les délibérations d'un Conseil municipal prises en violation d'une loi et le second donne au Préfet le droit de prononcer à toute époque cette nullité. Le troisième attribue enfin à tout intéressé le droit de se pourvoir contre l'arrêté du préfet. Or

(1) On sait que la loi du 5 avril 1884, a été modifiée sur la question du procès à engager pour les communes par la loi du 8 janvier 1905 qui a supprimé l'autorisation administrative qu'elles devaient obtenir, suppression qui produit son effet que la commune agisse soit comme demanderesse, soit comme défenderesse. Le mémoire en autorisation est toujours nécessaire pour les contribuables qui intentent une action contre une commune, à moins que ce soit devant une juridiction administrative; il doit être rédigé sur timbre et adressé au préfet ou au sous-préfet. De même la loi du 8 janvier 1905 n'a pas modifié la nécessité d'une autorisation donnée par le conseil de préfecture aux contribuables qui veulent intenter, tant en demandant qu'en défendant, les actions qu'ils croient appartenir à la commune ou aux sections de commune; l'autorisation qui leur est nécessaire leur est accordée par le conseil de préfecture. (Voir sur ce point toutes les explications données au Répertoire pratique de Dalloz Vo Commune no 3977 et suivants); le décret sur la décentralisation administrative du 28 décembre 1926 (Lois nouvelles 1927; page 7), n'a pas apporté de modification sur ce point.

(1) L'article 63 de la loi du 5 avril 1884 n'a pas été modifié par le décret du 5 décembre 1926 sur la décentralisation administrative, une délibération du conseil municipal est donc toujours nulle de droit, quand elle porte sur un objet étranger aux attributions de ce conseil, ou quand elle est prise en violation d'une loi ou d'un règlement d'administration publique; l'article 65 n'a été modifié que pour permettre au préfet de statuer seul. par un arrêté motivé sans être obligé de statuer en conseil de préfecture. Il est expressément maintenu qu'elle peut être prononcée « par le préfet à toute époque et proposée ou opposée par les parties intéressées à toutes époques. »

Lefebvre avait demandé au préfet de ne pas approuver la délibération du conseil municipal qui, en violation de l'article 8 de la loi du 15 juin 1906 avait donné à M. Vergnes de Castelpers, une concession de distribution avec privilège exclusif même pour la force motrice; le préfet avait passé outre et approuvé la délibération; Lefebvre se pourvut contre cette approbation; le Conseil d'Etat fait droit à sa demande et annule l'arrêté préfectoral, le Conseil fait remarquer qu'il ne jugera pas, sur le recours en excès de pouvoir, la validité du contrat : « Considérant d'autre part que le sieur Lefebvre ne demande pas l'annulation du contrat intervenu entre la ville de Blois et le sieur Vergnes de Castelpers il conclut seulement, devant le Conseil d'Etat, comme il l'avait fait devant le préfet de Loir-et-Cher. à ce que cette déclaration soit déclarée nulle de droit. Il accepte donc la requête de Lefebvre, annule l'approbation préfectorale et, par voie de conséquence, la délibération elle-même ».

III. **Texte de l'arrêt.** — *Sur l'intervention de la Ville de Villersexel :*

Considérant que la Ville de Villersexel a intérêt à l'admission des conclusions des sieurs Châtelot et autres; que, dès lors, son intervention est recevable;

Sur la validité de la concession de distribution d'énergie électrique.

Considérant que les conclusions principales des requérants qui exercent, en qualité de contribuables de Villersexel, au lieu et place de cette commune, l'action de cette dernière à l'encontre du sieur Blaise, tendant uniquement à ce que soit reconnue la nullité de la concession accordée audit sieur Blaise; que les sieurs Châtelot et autres se fondent, pour faire valoir leur prétention, sur ce que l'approbation donnée par le préfet de la Haute-Saône à la convention du 20 janvier 1907 serait irrégulière;

Considérant que, si l'acte d'approbation sus-mentionné n'a pas été déféré au Conseil d'Etat par la voie de recours pour excès de pouvoir, cette circonstance ne saurait priver l'une des parties de la faculté de se prévaloir devant le juge du contrat, pour contester la validité de la concession, de l'irrégularité dont serait entaché l'acte administratif dont s'agit; que, dès lors, le sieur Blaise n'est pas fondé à opposer au moyen présenté par les requérants à l'appui de leurs conclusions une fin de non-recevoir tirée de l'expiration du délai du recours pour excès de pouvoir;

Considérant qu'aux termes de l'article 7 de la loi du 15 juin 1906 si l'acte de concession passé par le maire comporte des dérogations ou modifications au cahier des charges type prévu par l'article 6 de ladite loi, il ne devient définitif qu'après avoir été approuvé par décret délibéré en Conseil d'Etat;

Considérant que la convention intervenue entre la Ville de Villersexel et le sieur Blaise postérieurement à la promulgation de la loi du 15 juin 1906 n'était pas conforme au cahier des charges type; qu'en vertu des prescriptions législatives sus-reproduites elle ne pouvait être approuvée que par décret en Conseil d'Etat que, dès lors, le préfet de la Haute-Saône n'avait pas qualité pour prendre une décision à son égard; que le sieur Blaise fait valoir, il est vrai, que le traité du 20 janvier 1907 a été passé avant la publication du décret du 17 mai 1908, lequel a établi le cahier des charges type des concessions communales; mais que le contrat dont s'agit n'a été revêtu de l'approbation préfectorale qu'à la date du 24 octobre 1908; qu'à cette époque rien ne faisait plus obstacle à l'application des dispositions de la loi précitée du 15 juin 1906 qui ont fixé les limites de la compétence des diverses autorités chargées d'approuver la concession d'une distribution d'énergie électrique que, dans ces conditions, l'approbation donnée par le préfet de la Haute Saône doit être regardée comme inopérante;

Considérant que le sieur Blaise soutient que, la Ville ayant exécuté la convention pendant 18 ans sans formuler aucune réserve sur sa validité et ayant même signé le 30 août 1923 un avenant audit traité, le vice qui résulterait de l'absence d'une approbation régulière se serait trouvé couvert et ne pourrait plus être invoqué par la commune pour se dégager de ses obligations;

Considérant que la circonstance que la Ville de Villersexel a tenu pour valable la convention du janvier 1907 et l'a mise en exécution ne saurait avoir donné à la concession accordée au sieur Blaise le caractère définitif que seule pouvait lui conférer, d'après les prescriptions mêmes de la loi du 15 juin 1906, une approbation par décret pris après avis en Conseil d'Etat;

Considérant qu'en l'absence de tout acte définitif de concession les requérants sont fondés à demander qu'il soit reconnu que le sieur Blaise ne possède pas à l'égard de la commune de Villersexel les droits qu'une concession de distribution d'énergie électrique assure à son bénéficiaire;

Décide :

Article premier. — L'intervention de la Ville de Villersexel est admise.

Article 2. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture de la Haute-Saône, en date du 7 mai 1926, est annulé.

Article 3. — Il est déclaré qu'en l'absence d'acte définitif de concession la convention du 20 janvier 1907 n'a pas fait naître en faveur du sieur Blaise les droits qui résultent d'une concession de distribution d'énergie électrique.

Article 4. — Les dépens exposés par les sieurs Châtelot et autres tant que devant le Conseil de Préfecture que devant le Conseil d'Etat, ainsi que les frais afférents à l'intervention de la Ville de Villersexel, sont mis à la charge du sieur Blaise.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur la possibilité qu'ont les maires des communes devant être traversées par une ligne de transmission d'énergie de prendre connaissance du projet d'exécution.

Le « Journal officiel » du 20 novembre 1929 publie, page 1 084 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent :

9618. — M. Mounié, sénateur, demande à M. le ministre des Travaux publics si, en suite des prescriptions des articles 38 et 42 du décret du 29 juillet 1927, relatifs aux transports d'énergie concédés par l'Etat, d'après lesquelles il ne semble pas que les municipalités soient comprises dans les services intéressés visés au deuxième alinéa de l'article 51 dudit décret, l'ingénieur en chef centralisateur est fondé à transmettre, pour avis, des exemplaires du projet d'exécution aux maires des communes traversées. (Question du 29 octobre 1929.)

Réponse. — Les services intéressés qui, aux termes de l'article 51 du décret du 29 juillet 1927, doivent examiner, en conférence, les projets d'exécution des lignes de transport d'énergie concédées par l'Etat, ne comprennent pas les municipalités : il ne s'agit ici que des services techniques.

Toutefois, le maire d'une commune traversée peut être valablement appelé en conférence, si le projet d'exécution prévoit l'occupation de chemins ruraux de la commune. C'est, en effet, l'autorité municipale qui est chargée de la police et de la conservation des chemins de cette catégorie (art. 9 de la loi du 20 août 1881), et le maire, à ce titre, doit être considéré comme un des services à saisir dudit projet, pour observations sur le projet technique d'exécution.

Sur les règlements concernant l'embauchage des ouvriers étrangers en rupture de contrat de travail.

Le « Journal officiel » du 11 décembre 1929 publie, pages 4242 et 4243 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

6226. — M. Maurice Tailliandier demande à M. le ministre de l'agriculture : 1° si l'enquête près du premier employeur, prescrite par l'alinéa 3 de l'article 64 b de la loi du 11 août 1926, pour la délivrance d'une carte de présentation à un travailleur étranger en rupture de contrat, peut se réduire à l'envoi à cet employeur d'une simple lettre, lui signalant les doléances formulées par ses ouvriers et l'invitant à faire connaître ses observations ; 2° pourquoi le contentieux du service de la main-d'œuvre et de l'immigration agricoles délivre cette carte de présentation avant d'avoir reçu la réponse de l'employeur, alors que la loi précise que la carte n'est donnée qu'après enquête. (Question du 21 novembre 1929.)

Réponse. — L'étendue de l'enquête nécessaire pour instruire les litiges survenant entre les employeurs et les travailleurs étrangers qu'ils emploient varie dans chaque cas particulier. Dans les cas les plus simples, la confrontation des renseignements fournis par les autorités étrangères compétentes ou par les ouvriers, d'une part, et par les employeurs, d'autre part, à la suite d'un échange de lettres, peut être suffisant. Dans les cas plus complexes toutes dispositions sont prises pour recueillir les informations complémentaires nécessaires, soit par l'intermédiaire des parquets ou des maires, soit par enquête directe effectuée sur place par les agents compétents du Ministère de l'Agriculture, soit par tous autres moyens de droit. Les ouvriers en rupture de contrat se présentant au service de contentieux du Ministère de l'Agriculture sont invités quand les circonstances de la rupture sont douteuses, à rejoindre leur emploi jusqu'à la conclusion de l'enquête, cette enquête demandant toujours d'assez longs délais. Lorsque, comme c'est très fréquemment le cas, ils refusent d'accepter cette proposition ou ne disposent pas des moyens de retourner chez leur employeur, la seule disposition pratique applicable reste — afin de ne pas perdre leur trace et lorsque les circonstances présumées de la rupture l'autorisent — le replacement temporaire dans une autre exploitation agricole, les droits du premier employeur étant réservés et la carte de présentation pouvant être retirée à n'importe quel moment. L'expérience a montré que d'une façon générale les ouvriers qui ne sont pas replacés conditionnellement dans une exploitation agricole ne reparaissent plus au service du contentieux et il est à présumer qu'un assez grand nombre d'entre eux est perdu pour l'agriculteur.

6227. — M. Maurice Tailliandier demande à M. le ministre de l'agriculture sur quel texte s'appuie le contentieux du service de la main-d'œuvre et de l'immigration agricoles pour délivrer aux ouvriers étrangers en rupture de contrat, sans attendre les résultats de l'enquête prescrite par le paragraphe III de l'article 64 b de la loi du 11 août 1926, une carte de présentation de durée illimitée, qui permet au nouvel employeur d'échapper aux sanctions prévues par la loi précitée. (Question du 21 novembre 1929.)

Réponse. — La réponse à la présente question est liée à la répouse formulée pour la question n° 6226. Il y a eu lieu d'ajouter que, lorsqu'un ouvrier en rupture de contrat est replacé provisoirement chez un nouvel employeur à l'aide d'une carte de présentation, cet employeur n'encourt pas de sanctions. Il n'accomplit en effet aucun acte répréhensible puisqu'il reçoit conditionnellement l'ouvrier en sachant que les droits du premier employeur sont réservés La carte de présentation ne donne lieu, dans cette circonstance, qu'à un remplacement provisoire durant la période nécessaire pour l'instruction complète du litige, période qui est extrêmement variable quant à sa durée selon la nature des cas à traiter. Il convient de rappeler que le Ministère de l'Agriculture a été le promoteur des dispositions qui, après avoir subi certaines modifications, ont constitué ultérieurement la loi du 11 août 1926. Sa constante préoccupation a donc été de remédier à la pratique du débauchage et à la rupture injustifiée des contrats de travail, par une application aussi judicieuse que possible des moyens réglementaires et légaux mis à sa disposition.

Sur l'obligation pour les entreprises de maintenir en bon état de fonctionnement les compteurs électriques pour lesquels elles perçoivent une redevance d'entretien.

Le « Journal officiel » du 4 décembre 1929 publie, page 3843 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

5767. — M. Besnard-Ferron demande à M. le ministre des Travaux publics si un consommateur d'électricité ayant acheté son compteur et payant mensuellement, pour l'entretien de ce dernier, une redevance au concessionnaire de l'alimentation électrique de son compteur, doit, en cas de dérangement du compteur, régler le montant des réparations ; et ajoute que le contrat qui lie les parties, ne comprend pas de règlement sur cette question. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — La perception d'une redevance mensuelle pour l'entretien du compteur crée en contre-partie pour le concessionnaire l'obligation de maintenir l'appareil en bon état de fonctionnement. Il semble donc que les frais de réparation doivent être mis à la charge du concessionnaire, à moins que le dérangement du compteur ne résulte d'une faute de l'abonné. Toutefois, comme les droits et obligations respectifs de l'abonné et du concessionnaire ne sont réglés en l'espèce par aucun contrat, seuls, les tribunaux seraient compétents pour trancher un différend survenant sur cette question.

Sur l'impossibilité pour un inventeur de déduire de ses revenus, en vue de ses impôts, les dépenses qu'il a effectuées pour réaliser son invention.

Le « Journal officiel » du 21 décembre 1929 publie, page 4544 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

5643. — M. Taton-Vassal expose à M. le ministre des Finances : *a*) qu'un ingénieur ne s'est livré à aucune occupation lucrative en 1926 et 1927 ; *b*) mais, qu'au cours de ces deux années, il a effectué des recherches scientifiques qui lui ont permis de réaliser une invention qu'il a fait breveter, en France et à l'étranger, en 1928, et dont il a vendu les brevets en 1929 ; et demande si ce contribuable était fondé, dans ses déclarations de revenu global souscrites en 1927 et en 1928, à déduire de l'ensemble de ses revenus les frais à lui occasionnés par lesdites recherches. (Question du 22 octobre 1929.).

Réponse. — Réponse négative. Le prix que l'ingénieur en question a retiré de la vente de son brevet n'ayant pas, d'après la jurisprudence, le caractère d'un revenu imposable, les dépenses exposées pour réaliser l'invention et qui ne rentrent pas dans les charges du revenu global énumérées à l'article 76 des lois codifiées (décret du 15 octobre 1926) n'ont pas, non plus, le caractère des dépenses déductibles.

Sur l'application de la législation des assurances sociales aux ouvriers et employés détachés en Alsace et en Lorraine.

Le « Journal officiel » du 21 décembre 1929 publie, page 4541 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

5754. — M. Bouëssé expose à M. le président du conseil : *a*) qu'un chef d'une industrie, dont le siège social est à Paris, a installé des succursales dans diverses villes d'Alsace et de Lorraine et a détaché dans ces annexes du personnel venant de Paris, par exemple ; *b*) que, suivant la législation française, il a, jusqu'à présent, déclaré à la compagnie qui l'assure la totalité des salaires payés par lui tant à son personnel d'Alsace ou de Lorraine qu'à celui des autres départements ; *c*) que la corporation « métaux et transports de Mulhouse » le met aujourd'hui en demeure d'assurer par son intermédiaire les salariés résidant dans les départements recouvrés et lui fait obligation de lui verser le montant des primes basées sur la totalité des salaires payés à ce personnel depuis l'installation de ces dépôts ; et demande : 1° si, les contrats français lui faisant obligation en principe de garantir tout le personnel employé quel qu'il soit et où qu'il se trouve, la prétention de la corporation des métaux est justifiée ; 2° éventuellement, sur quels arguments de principe et de texte serait basée une solution affirmative. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — Conformément à l'article 1er, paragraphe 1er, de la loi du 15 mai 1926, le code des assurances sociales maintenu en vigueur dans les trois départements recouvrés, régit l'indemnisation des victimes d'accidents du travail dans ces départements. Ce personnel, en tant qu'il est occupé dans ces entreprises industrielles appartenant aux catégories énoncées audit code, est obligatoirement assuré auprès des corporations instituées par arrêté du 17 juillet 1919. En dehors des exploitations situées dans la limite commune d'un ancien et d'un nouveau département, il n'est admis d'exception à cette règle qu'en ce qui concerne les travaux temporaires exécutés en Alsace et en Lorraine par des entreprises ayant leur siège social dans un ancien département. Dans ce cas le personnel embauché sur place est seul soumis à la législation locale, tandis que celui détaché du siège de l'entreprise reste régi par la loi du 9 avril 1898. En conséquence, si une entreprise industrielle qui a son siège social à Paris possède des succursales dans diverses localités des départements recouvrés, le personnel de ces succursales recruté sur place et occupé dans les nouveaux départements est garanti contre les accidents du travail selon le code local des assurances sociales visé ci-dessus. Par contre, les ouvriers ou employés détachés du siège de l'entreprise, en vue de l'exécution de travaux temporaires, dans une succursale ayant son siège dans ces départements, continuent à bénéficier du régime prévu à la loi du 9 avril 1898. Si le chef de l'entreprise a conclu, conformément à cette loi, des contrats avec un assureur à l'effet de garantir l'ensemble de son personnel en quelque lieu qu'il se trouve, ceux-ci sont donc entachés de nullité et doivent être résiliés en ce qui concerne les salariés recrutés sur place en Alsace et en Moselle, conformément à l'arrêté du président du conseil, ministre de la guerre, en date du 30 décembre 1918, et à l'article 7, alinéa 2, de la loi du 15 mai 1926.

Sur le taux de l'amortissement des maisons ouvrières construites par les patrons admis au point de vue fiscal.

Le « Journal officiel » du 30 décembre 1929 publie, page 4865 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

5974. — M. Bergerot demande à M. le ministre des Finances : 1° s'il est exact que les contrôleurs des contributions directes s'opposent à l'amortissement à 5 pour 100 des maisons ouvrières construites par les patrons eux-mêmes entièrement à leurs frais, et louées à leurs ouvriers à un prix très minime ; ajoute que le contrôleur veut imposer l'amortissement à 1 pour 100 seulement, ce qui correspondrait à un délai de cent années ; 2° s'il n'estime pas que le taux de 4 pour 100 correspondant à un délai de vingt-cinq années est le minimum de ce qu'il serait équitable d'envisager, pour ne pas décourager des initiatives qui ont le grand mérite de ne rien coûter à l'Etat. (Question du 8 novembre 1929.)

Réponse. — Au point de vue fiscal, l'amortissement déductible doit s'entendre de l'annuité nécessaire pour reconstituer, à l'expiration de la durée normale des immeubles, le capital correspondant à leur prix de construction ou d'acquisition. Le taux de cet amortissement ne peut dès lors être fixé d'une manière uniforme et il est susceptible de varier suivant chaque cas d'espèce. Toutefois, un amortissement annuel de 4 pour 100 pour des maisons ouvrières de construction légère paraîtrait raisonnable et susceptible d'être admis.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 5. — 1er FÉVRIER 1930.

Chronique. — Ondes et corpuscules dans la physique moderne : Conférence de M. Louis de Broglie au Conservatoire national des Arts et Métiers, p. 161, — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de projets de normalisation, p. 162. — Bibliographie : Annuaire 1929-1930 du Syndicat général de la Construction électrique, p. 162; Les câbles à haute tension (High voltage cables), par L. EMANUELI, p. 162.

Section scientifique et technique. — Sur le développement en série de l'impédance d'une ligne uniforme, par J.-B. POMEY, p. 163. — De l'influence d'une excentricité de la couronne de porte-balais sur l'équidistance des lignes de balais, par J. FROIDEVAUX, p. 164. — Revues, analyses et informations : Variation de la force électromotrice de l'élément Latimer-Clark sous l'influence des radiations ultra-violettes et des rayons X, p. 166; Mesures précises de la perméabilité de barreaux droits et de lames dans les régions de haute perméabilité, p. 167; Les discontinuités d'aimantation dans le fer et le nickel, p. 168; Une théorie générale du plasma d'arc, p. 169; Ondes électroniques, p. 170; Perfectionnement à la technique de l'obtention de l'effet Raman et cas particulier des gaz, p. 170; Caractéristiques de fonctionnement des cellules photoélectriques, p. 171; La constante diélectrique des vapeurs de quelques alcools, et le moment électrique des molécules de ces alcools, p. 171; La conduction par les ions dans des champs électriques et magnétiques croisés, p. 172;

Section industrielle. — Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest, par P. COMBES et H. LAJUS, p. 173. — Normalisation des engrenages, p. 184. — Revues, analyses et informations : Groupes moteurs-pompes électriques pour le refoulement des huiles dans les canalisations, p. 187; Un régulateur de tension à triodes pour machines puissantes, p. 188.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société française radioélectrique, p. 189; Société Electro-Câble, p. 190.

Section de législation. — Le relèvement des tarifs de concession et les instances en indemnité pour charges extracontractuelles. Arrêt du Conseil d'Etat du 27 décembre 1929, par Paul BOUGAULT, p. 191.

Ondes et corpuscules dans la physique moderne : Conférence de M. Louis de Broglie au Conservatoire national des Arts et Métiers. — C'est sous la présidence de M. Paul Painlevé que M. Louis de Broglie, lauréat du prix Nobel de physique de 1929, fit la conférence, que nous avons annoncée, au Conservatoire national des Arts et Métiers, le dimanche 26 janvier.

En présentant le conférencier, M. Painlevé donne un aperçu des étapes successives au cours des siècles, des théories de la physique : discontinuité et corpuscules, d'une part, continuité et ondes, de l'autre, ces conceptions en apparence contradictoires, sont tour à tour abandonnées et rejetées; chacune considérée seule, ne suffit pas à l'interprétation de tous les phénomènes connus de nos jours. L'œuvre de M. de Broglie consiste précisément dans l'établissement d'une correspondance de ces deux notions, ondes et corpuscules, correspondance qui se traduit par une relation entre la quantité de mouvement de l'électron et la longueur d'onde, l'une des grandeurs étant l'inverse de l'autre.

M. Louis de Broglie expose nettement cet antagonisme : les corpuscules interviennent dans la théorie atomique, dans celle des électrons qui permet de préciser la notion d'atome et dont l'expérience a confirmé les conclusions; les ondes, de leur côté, indispensables à l'interprétation de certains phénomènes lumineux, interférence, diffraction, polarisation ne suffisent plus lorsqu'apparaissent des phénomènes de très courte longueur d'onde, représentés par les rayons X et les rayons γ, ainsi que certains effets tels que les émissions radioactives et le phénomène de la photoélectricité. S'arrêtant à ce dernier effet, M. de Broglie insiste sur la nécessité de revenir à une théorie corpusculaire pour l'expliquer; on a donné le nom de « photons » à ces corpuscules de lumière qui seraient émis par la matière et se propageraient par onde. Ondes et corpuscules ne sont donc pas contradictoires, mais bien plutôt liés dans la nature. Tel est un des faits expérimentaux tenant lieu de point de départ de la nouvelle théorie dont M. de Broglie montre les conséquences. Un premier résultat de cette conception du lien entre les ondulations et le corpuscule émis est la relation établie entre les grandeurs qui définissent le mouvement des corpuscules et les longueurs des ondes correspondantes, soit, pour préciser, la relation mentionnée par M. Painlevé, entre la quantité de mouvement de l'électron et la longueur d'onde, cette grandeur étant inversement proportionnelle à la première. Si les électrons se déplacent dans un espace restreint, dont les dimensions sont assez réduites pour que celles de l'électron ne soient pas négligeables, la mécanique classique ne s'applique plus, d'où la nécessité de créer une nouvelle mécanique, la mécanique ondulatoire.

Sans entrer dans les développements mathématiques (1) de cette nouvelle théorie, M. de Broglie, après en avoir exposé le principe, montre les résultats de quelques expériences qui confirment ceux du calcul. Ces expériences sont celles de Davisson et Germer qui ont étudié le phénomène produit par un flux d'électrons tombant contre un cristal de nickel, celles de G.-P. Thomson, de Ponte, en France, de Debye et Scherrer consistant à réaliser des phénomènes de diffraction par des flux d'électrons tombant sur des pellicules métalliques, dans des conditions différentes. Le phénomène observé est identique à celui obtenu avec des rayons X et mis en évidence par M. Maurice de Broglie.

Sur les photographies que présente le conférencier, et qui résultent des expériences de M. Ponte, apparaissent nettement des anneaux dus à la structure microcristalline de la pellicule, anneaux dont le diamètre correspond bien à celui calculé.

Ainsi se trouve établie une théorie, confirmée par l'expérience, qui concilie les deux notions d'ondes et corpuscules, théorie valable non seulement pour l'interprétation des phénomènes lumineux, mais permettant de pénétrer dans la nature intime de la matière qui serait, comme la lumière, à la fois ondes et corpuscules. — A. C.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de projets de normalisation. — Les deux projets de normalisation soumis à l'enquête publique, qui sont respectivement indexés CNM 151 et CNM 152, concernent, le premier, les engrenages droits interchangeables de mécanique générale, le second, les engrenages à dents courtes employés dans les automobiles et dans certains mécanismes de précision.

Ces deux types d'engrenages avaient déjà été étudiés entre 1920 et 1924, par la Commission permanente de Normalisation du Ministère du Commerce et les résultats de cette étude avaient été exposés dans un rapport établi en 1924 par M. J. Androuin, rapport que nous reproduisons plus loin, pages 184 à 186 de ce numéro, ainsi que les règles et recommandations formulées par la Commission permanente de Standardisation à la suite de la lecture de ce rapport.

Ces règles et recommandations n'ayant pas été publiées jusqu'ici, la Commission des Eléments de Machines du Comité de Normalisation de la Mécanique en a repris l'examen et les a adoptées sans autre modification que l'adjonction des modules 8,5 et 9,5 à la norme des engrenages à dents courtes, en vue de parfaire la concordance des normes concernant les deux types d'engrenages. Si des objections ne sont pas présentées au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 28 février 1930, date de clôture de l'enquête publique, ces règles et recommandations constitueront les normes CNM 151 et CNM 152.

Bibliographie : Annuaire 1929-1930 du Syndicat général de la Construction électrique (2). — Cet annuaire est divisé en quatorze parties. Dans la première on trouve un exposé historique de la formation du Syndicat général de la Construction électrique, la publication de ses statuts intérieurs, l'administration du syndicat et la composition de ses divers conseils et commissions. La deuxième partie traite de la « Revue générale de l'Electricité », de la Foire de Paris et des services annexes du Syndicat général de la Construction électrique. On trouve ensuite une liste des syndicats affiliés au Syndicat général de la Construction électrique. Des renseignements administratifs sur les syndicats affiliés au Syndicat général et au groupe lyonnais qui s'y trouve rattaché font l'objet de la troisième partie. Signalons encore la partie consacrée à l'organisation générale, administrative, technique et commerciale et un important chapitre relatif aux douanes, à leur administration et aux différents tarifs douaniers concernant le matériel électrique. — I. F.

Bibliographie : Les câbles à haute tension (High voltage cables) a voulu exposer par L. Emanueli (1). — L'auteur de cet ouvrage, l'état actuel de l'industrie des câbles et montrer le résultat de l'emploi des méthodes scientifiques dans l'industrie. Il passe d'abord en revue les principaux types de câbles et décrit sommairement les diverses phases de leur fabrication ; il étudie ensuite, séparément et en détail, quelques points particulièrement intéressants.

L'isolement, qui est une question fondamentale dans l'élaboration des câbles à haute tension, est considéré en premier lieu. L'auteur envisage d'abord la question des huiles d'imprégnation. Il passe en revue les huiles américaines, russes et roumaines et montre enfin comment les différents groupes chimiques contenus dans les huiles brutes sont séparés par distillation fractionnée, et étudie les caractéristiques de chaque huile telles que sa viscosité, sa dilatation, ses propriétés absorbantes, sa résistivité, etc., à l'aide des méthodes les plus scientifiques.

Lorsque le câble est terminé on éprouve l'isolant au laboratoire, mais si lors de ces essais la répartition du champ électrique est uniforme, il n'en est plus de même quand le câble est en service. Il est donc nécessaire de connaître alors la distribution du potentiel dans le diélectrique. Dans les cas simples, les méthodes mathématiques peuvent suffire, mais en général on est obligé de recourir aux méthodes expérimentales, dont la plus intéressante est l'investigation électrostatique, qui permet de représenter graphiquement la distribution du champ électrique à un instant quelconque.

L'auteur considère le diélectrique d'un câble au point de vue de son imprégnation, laquelle dépend du degré de vide qui a été obtenu dans le câble avant que le composé ait pénétré dans l'intérieur de l'enveloppe de celui-ci. Lorsque l'imprégnation est terminée, la pression dans le câble doit être égale à la pression atmosphérique. Les propriétés mécaniques et électriques d'un câble terminé sont aussi très importantes. Aussi a-t-on étudié soigneusement les pressions auxquelles est soumis le diélectrique d'un câble quand on le courbe ou qu'on le plie. Du point de vue électrique on s'intéresse surtout à la question des pertes dans le diélectrique, du fait que quand la tension est très élevée, ces pertes constituent plus de la moitié des pertes totales. Il faut enfin connaître la tension maximum que peut supporter le diélectrique ; sa valeur est influencée par la nature du courant et par le temps durant lequel elle est appliquée.

L'auteur termine cet intéressant ouvrage par l'indication des caractéristiques des câbles employés dans quelques réseaux importants. — I. F.

(1) Louis de Broglie ; Les principes de la nouvelle mécanique ondulatoire. *Le Journal de Physique et le Radium*, novembre 1926, t. VII (6e série), p. 221-337.

Louis de Broglie ; Sur la nature ondulatoire de l'électron. *Revue scientifique*, 11 janvier 1930, t. LXVIII, p. 1-7.

(2) Un volume, format 21,5 cm × 13,5 cm, de 576 pages, édité par le Syndicat général de la Construction électrique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e). Prix : broché, 50 fr.

(1) Un volume, format 23 cm × 14 cm, de 107 pages, avec 81 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman and Hall, 11, Henrietta Street, W. C. 2, Londres. Prix : relié, 8 shillings 6 pence.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur le développement en série de l'impédance d'une ligne uniforme

Dans cette brève étude, l'auteur expose une méthode de développement en série de l'impédance caractéristique d'une ligne dans le but d'en déduire une valeur aussi rigoureuse que possible des deux parties, réelle et imaginaire, de l'expression de cette impédance. Cette question présente un intérêt particulier depuis l'emploi sur les lignes téléphoniques des relais répéteurs, du fait que la qualité de la transmission dépend dès lors essentiellement de la fidélité avec laquelle dans ces relais les lignes artificielles d'équilibre représentent les lignes réelles.

L'étude de la propagation du courant électrique le long d'une ligne à constantes uniformément réparties met en évidence deux grandeurs complexes fondamentales, la constante de propagation et l'impédance caractéristique de l'ondulation électrique.

Si, par unité de longueur de la ligne à double fil, la résistance est ρ, l'inductance λ, la conductance de fuite σ, la capacité γ, et si la pulsation du régime harmonique simple considéré est ω, la constante de propation a et l'impédance caractéristique Z sont données par les formules bien connues

$$a = \sqrt{(\rho + \lambda\omega i)(\sigma + \gamma\omega i)},$$

$$Z = \sqrt{\frac{\rho + \lambda\omega i}{\sigma + \gamma\omega i}}.$$

On a cherché un développement en série pour a, afin d'en déduire principalement une valeur approchée de la partie réelle qui est la constante d'affaiblissement. Les phénomènes d'écho, qui se produisent sur les très longues lignes téléphoniques, ont montré dans ces dernières années qu'il ne fallait pas négliger la partie purement imaginaire du développement.

J'ai moi-même indiqué dans cette revue (1) un développement de a fondé sur la série de Lagrange, relative aux racines d'une équation de la forme

$$z = x + \iota f(z),$$

que l'on rencontre en astronomie.

Je voudrais à présent indiquer un développement en série pour Z.

L'intérêt de la question résulte des considérations suivantes : avant l'application des relais téléphoniques, dits répéteurs, les caractéristiques de propagation sur les lignes de transmission étaient d'importance plus grande que leurs caractéristiques d'impédance, car l'énergie reçue dépend beaucoup plus des premières que des secondes; mais l'emploi de relais, fonctionnant simultanément dans les deux sens, a fortement diminué l'importance des courbes caractéristiques relatives à la partie réelle et à la partie imaginaire de la constante a, tandis que les résultats obtenus dépendent beaucoup plus de Z. Cela provient de ce que l'efficacité du relais est beaucoup influencée par le degré d'exactitude avec lequel on a pu réaliser l'équilibre entre la ligne de transmission et la ligne artificielle du dispositif différentiel. Si en effet cette égalisation laisse à désirer, on est vite limité dans l'amplification à demander au relais, parce qu'il devient générateur d'oscillations de fréquence acoustique. Il y a donc nécessité de se servir de réseaux d'équilibre imitant aussi exactement que possible la ligne réelle et on a avantage à donner à ces réseaux une constitution aussi simple que possible. C'est ce que permettra un développement en série, la considération des termes d'ordre de plus en plus élevé devant amener à ajouter toujours de nouveaux éléments, tandis que si l'on peut se borner à la comparaison des premiers termes, on n'aura besoin que des combinaisons les plus simples.

Bien que des techniciens de valeur aient donné des solutions approchées du problème et aient fait valoir d'excellents résultats d'expérience, il semble que le problème théorique du développement de Z en série ne soit pas dénué de toute utilité.

A cet égard, on remarquera que sous le radical de l'expression qui définit Z, on peut supposer, au numérateur, que l'un des deux termes est prépondérant et de même, au dénominateur, que l'un ou l'autre aussi des deux termes est prépondérant. Nous avons donc quatre combinaisons à envisager. Elles se traitent identiquement de la même façon. Il nous suffira donc de faire une hypothèse particulière. Admettons que l'inductance l'emporte sur la résistance et la capacité, sur la conductance de fuite ou latérale.

Alors, en première approximation, on a

$$Z = Z_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma}},$$

(1) POMEY ; Longueur d'onde et affaiblissement des circuits téléphoniques. *Revue générale de l'Electricité*, 24 août 1918, t. IV, p. 251-253.

Nous développerons donc en série $\frac{Z}{Z_0}$, et nous aurons

$$Z = Z_0 \sqrt{\frac{1+\frac{\rho}{\lambda\omega i}}{1+\frac{\sigma}{\gamma\omega i}}} = Z_0 \frac{1+\frac{\rho}{\lambda\omega i}}{\sqrt{\left(1+\frac{\sigma}{\gamma\omega i}\right)\left(1+\frac{\rho}{\lambda\omega i}\right)}};$$

σ et ρ sont supposés petits par rapport à $\gamma\omega$ et $\lambda\omega$. Je pose donc

$$\frac{\rho}{\lambda\omega i} = zt, \qquad \frac{\sigma}{\gamma\omega i} = \frac{1}{z}t,$$

d'où

$$z = \sqrt{\frac{\gamma}{\sigma}\,\frac{\rho}{\lambda}}, \qquad t = \sqrt{-\frac{\rho\sigma}{\lambda\gamma\omega^2}},$$

et t est infiniment petit du premier ordre, si ρ et σ peuvent être considérés comme tels par rapport aux autres grandeurs $\lambda\omega$ et $\gamma\omega$.

On a donc

$$\frac{Z}{Z_0} = \left(1+\frac{\rho}{\lambda\omega i}\right)\frac{1}{\sqrt{1+t\left(z+\frac{1}{z}\right)+t^2}}.$$

Simplifions encore, en posant

$$2x = z + \frac{1}{z};$$

le dénominateur devient

$$\sqrt{1+2tx+t^2},$$

et l'on a, d'après une formule connue, en fonction des polynômes de Legendre X_n,

$$\frac{1}{\sqrt{1+2tx+t^2}} = 1 + \sum_1^\infty (-1)^n t^n X_n,$$

avec

$$X_n = \frac{1}{2^n n!}\frac{d^n}{dx^n}(x^2-1)^n,$$

On a donc

$$\frac{Z}{Z_0} = (1+zt)(1+\sum(-1)^n X_n tn),$$

ou

$$\frac{Z}{Z_0} = 1 + \ldots + (-1)^n (X_n - zX_{n-1})\,t^n + \ldots$$

avec

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma}}, \quad z = \sqrt{\frac{\gamma\rho}{\lambda\sigma}}, \quad x = \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{\gamma\rho}{\lambda\sigma}} + \sqrt{\frac{\lambda\sigma}{\gamma\rho}}\right),$$

$$t = \frac{i}{\omega}\sqrt{\frac{\rho\sigma}{\lambda\gamma}},$$

et X_n est le polynôme de Legendre

$$X_n = \frac{1}{2^n n!}\frac{d^n}{dx^n}(x^2-1)n.$$

Le problème sera complètement résolu si l'on sépare la partie réelle et la partie imaginaire de Z, ce qui n'offre aucune difficulté.

Les autres cas donneraient lieu à des formules analogues.

Le cas examiné se rapporterait, par exemple, à un câble uniformément chargé suivant la méthode de M. Barbarat ou de Krarup.

J.-B. Pomey.

De l'influence d'une excentricité de la couronne de porte-balais sur l'équidistance des lignes de balais

On conçoit facilement que si la couronne de porte-balais d'une machine électrique n'est pas convenablement centrée, il en résulte des irrégularités dans la répartition des balais eux-mêmes sur le collecteur. Dans l'article qui suit l'auteur indique un procédé de calcul permettant de déduire des écarts observés dans les distances entre les lignes de balais l'importance de l'excentricité et de la corriger.

I. **Exposé du problème.** — La réalisation d'une équidistance parfaite des supports des lignes de balais est une condition nécessaire, mais non suffisante, pour obtenir une bonne répartition sur le collecteur d'une machine des différentes lignes de balais. Une légère excentricité de la couronne des porte-balais suffit en effet à déplacer systématiquement dans un sens tous les balais d'une région et dans le sens opposé tous les balais de la région située sur le collecteur à 180° de la première.

Lorsque la couronne support ne peut pas être centrée directement sur la carcasse de la machine, le cas s'est produit pour un convertisseur de fréquence triphasé à collecteur à double couronne de balais décalables, il est nécessaire d'avoir recours à un procédé spécial pour obtenir un centrage suffisamment parfait et satisfaisant au point de vue pratique.

Nous allons décrire le procédé qui a été employé pour rectifier le centrage de chacune des deux couronnes de porte-balais du convertisseur de fréquence dont nous venons de parler.

Ce convertisseur de fréquence monté en bout d'arbre d'un moteur asynchrone de laminoir à 20 pôles (300 t : mn) possède lui-même 20 pôles et est destiné au réglage de la vitesse et du facteur de puissance. Chaque couronne porte trois lignes de balais par paire de pôles, soit en tout trente lignes de balais.

Ayant remarqué, malgré le soin particulier apporté au réglage de l'équidistance, qu'une mauvaise commutation et des étincelles, à certaines lignes de balais, décelaient une mauvaise répartition du courant entre les différentes lignes en parallèle, on fit le relevé direct de la position des balais sur le collecteur, que l'on interpréta de la manière suivante :

Les numéros des trente lignes de balais ont été portés en abscisses (fig. 1) et les écarts entre la position

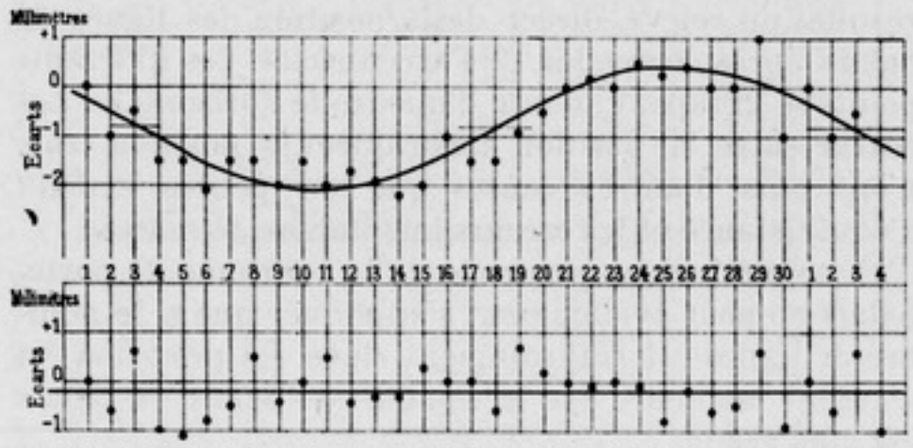


Fig. 1. — Ecarts entre la position théorique et la position vraie des 30 lignes de balais d'un convertisseur de fréquence à collecteur. Courbe supérieure : avant le centrage. Courbe inférieure : après le centrage.

théorique et la position vraie de chaque ligne de balais, en ordonnées. La ligne de balais n° 1 a été arbitrairement choisie comme située exactement à sa place (écart nul).

Le résultat obtenu a été celui de la courbe supérieure de la figure 1. Les points représentatifs des écarts des différentes lignes de balais se groupent nettement autour d'une sinusoïde moyenne qu'il est facile de tracer. Cela signifie que la couronne de porte-balais n'est pas exactement centrée par rapport au collecteur.

Des caractéristiques de la sinusoïde obtenue ainsi expérimentalement il est facile de déduire exactement l'excentricité en grandeur et en direction, et par suite de la corriger.

II. **Recherche de l'équation de la sinusoïde correspondant à une excentricité donnée.** — Nous allons étudier les modifications apportées à l'équidistance par une excentricité, dans le cas général où les gaines dans lesquelles les balais coulissent sont inclinées d'une angle φ sur le rayon. Soient (fig. 2) O le centre du collecteur et A la position correcte d'un balai sur le collecteur lorsque la couronne est exactement centrée. Soit Ag la direction de coulissement de ce balai faisant l'angle φ avec la direction du rayon OA. Pour définir la position du balai A, prenons une direction origine Ox, et appelons α l'angle de OA avec Ox; α sera la variable indépendante. Si C est le centre de la couronne des porte-balais, nous définirons l'excentricité OC par l'angle β que fait OC avec Ox, et par la longueur $OC = d$. Et nous appellerons γ l'angle que fait OC avec OA, soit

$$\gamma = \alpha - \beta.$$

Lorsque le centre de la couronne des porte-balais est en C, le point A est venu en A' tel que $AA' = OC$ et le

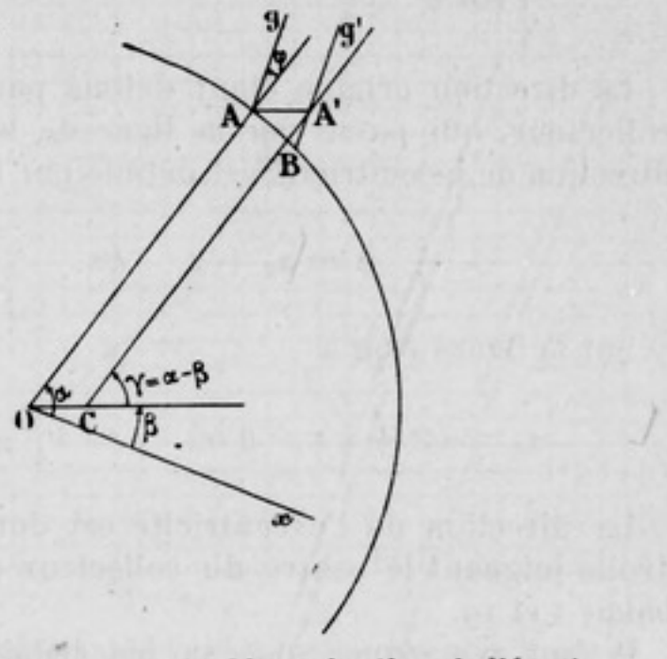


Fig. 2. — Diagramme de détermination de l'écart d'une ligne de balais en fonction de l'excentricité.

balai touche le collecteur en B sur le prolongement de A'g', direction du coulissement.

Nous admettrons que l'excentricité est suffisamment petite pour que l'arc de cercle AB puisse être assimilé à une droite perpendiculaire au rayon OA. Il est alors très facile de calculer l'écart $AB = e$ entre la position vraie B et la position théorique A du balai.

Les angles AA'B et ABA' s'évaluent immédiatement :

$$AA'B = \varphi + \gamma, \qquad ABA' = \frac{\pi}{2} - \varphi,$$

d'où

$$\frac{a}{\cos\varphi} = \frac{e}{\sin(\alpha - \beta + \varphi)},$$

et

$$e = \frac{d}{\cos\varphi}\sin(\alpha - \beta + \varphi).$$

Telle est la relation qui donne l'écart d'une ligne de balais en fonction de l'excentricité et de la position théorique sur le collecteur de la ligne considérée.

La sinusoïde ayant été tracée expérimentalement, son élongation maximum donne $\frac{d}{\cos\varphi}$, d'où l'on déduit d. Le point d'élongation nulle de la sinusoïde correspond à une valeur α_0 de α telle que

$$\alpha_0 - \beta + \varphi = k\pi.$$

On en déduit

$$\beta = \alpha_0 + \varphi - k\pi,$$

et la direction du décentrement.

III. **Application numérique.** — Pour le convertisseur de fréquence dont nous avons parlé, on a

$$\varphi = 12°, \quad \cos\varphi = 0{,}97185.$$

La figure 1 donne

$$\frac{d}{\cos\varphi} = 1{,}25 \text{ mm}, \quad d = 1{,}22 \text{ mm}.$$

La direction origine étant définie par le rayon du collecteur, qui passe par la ligne de balais n° 1, la direction de l'exentricité est définie par l'angle

$$\beta = \alpha_0 + \varphi - k\pi.$$

Sur la figure 1 on a

$$\alpha_0 = 24° + k'\pi, \quad \text{d'où} \quad \beta = 36° + k_1\pi.$$

La direction de l'excentricité est donc celle d'une droite joignant le centre du collecteur aux lignes de balais 4 et 19.

Il faut remarquer que si les balais avaient été inclinés en sens inverse on aurait eu

$$\varphi = -12° \quad \text{et} \quad \beta = 12° + k_1\pi.$$

Enfin pour trouver le sens de l'excentricité nous remarquerons que :

1° Les lignes de balais ont été numérotées en tournant dans le sens des angles positifs croissants;

2° Les écarts AB ont été considérés comme positifs lorsque l'on passait du point A au point B en tournant dans le sens des angles positifs croissants;

3° Les écarts des lignes de balais 10 et 11 sont négatifs, ceux des lignes 25 et 26 sont positifs.

On en déduit immédiatement que OC est de même sens que O4, c'est-à-dire que le centre C de la couronne est situé sur le rayon O4 entre le centre O du collecteur et la ligne de balais n° 4.

L'excentricité OC est ainsi exactement définie en grandeur, direction et sens, et peut être corrigée avec précision. La courbe inférieure de la figure 1 donne le résultat du relevé direct de la position des lignes de balais après correction de l'excentricité. Les différents points se groupent autour d'unedroite horizontale. Les écarts entre la position théoriqueet la position vraie n'ont plus d'autres causes que de petites erreurs d'équidistance et les erreurs inévitables de relevé.

Cette méthode de centrage de la couronne de porte-balais ne peut évidemment s'appliquer que si le nombre de lignes est suffisamment élevé. La précision est d'autant meilleure que le nombre de lignes de balais est plus grand.

J. FROIDEVAUX.

Revues, analyses et informations

Variation de la force électromotrice de l'élément Latimer-Clark sous l'influence des radiations ultraviolettes et des rayons X.

M. Mario Conti, chef du Laboratorio di Precisioni R. Esercito, à Rome, nous a adressé une note relative à des résultats de mesures effectuées dans le but de déterminer l'influence des radiations à onde très courte (radiations ultraviolettes et rayons X) sur certaines réactions chimiques; cette influence se traduit en particulier par des variations de la force électromotrice des piles dans lesquelles elles se produisent. Rappelons que M. J. Pougnet a présenté au Congrès de Montpellier de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, en 1922, une étude relative à cette question ; cette note a été publiée dans ces colonnes (1). L'élément qui a fait l'objet de ses recherches est l'élément Weston, tandis que les travaux de M. Conti portent sur l'élément Latimer-Clark, au sulfate de zinc et au sulfate mercureux; l'appareil dont s'est servi ce dernier auteur pour la mesure de la force électromotrice est le potentiomètre Elliot, équipé avec un élément Weston; les lectures pouvaient être faites jusqu'à 10^{-5} v.

Sur le tableau I sont consignés les résultats obtenus avec cet élément, dans un tube de quartz, subissant l'action des rayons ultraviolets d'une lampe à vapeur de mercure Cooper-Hewitt, en quartz, absorbant 3 à 6A, la longueur d'onde des radiations étant de 2500 à 3000 Å. A titre de comparaison, sur le même tableau, sont indiquées les valeurs de la force électromotrice calculées aux températures correspondantes d'après la formule

$$V = V_0 - [0{,}00119\,(\theta - 15) + 0{,}000007\,(\theta - 15)^2]$$

où

$$V_0 = 1{,}432547 \text{ v}$$

et θ représente la température au régime considéré, en degrés centésimaux.

Les nombres indiqués représentant les valeurs moyennes des résultats obtenus au cours de plusieurs séries de mesures, on constate que le phénomène ne présente presque aucune hystérésis. Sur la figure 1 est reproduite la courbe montrant l'influence des radiations ultraviolettes; elle se traduit par la tendance qu'a la force électromotrice de l'élément à ne pas diminuer lorsque la température augmente.

Bien que la forme de la courbe se rapproche de celle établie par M. Pougnet sur l'élément Weston (1), les conclusions de M. Conti diffèrent de celles de M. Pougnet; pour préciser la cause de cette influence, M. Conti a soustrait à l'action des radiations ultraviolettes la branche positive de

(1). J. POUGNET; Variations de la force électromotrice d'un élément Weston en quartz, sous l'influence de la lumière ultraviolette. *Revue générale de l'Électricité*, 7 octobre 1922, t. XII, p. 514-516.

(1) J. POUGNET. *Loc. cit.*

TABLEAU I. — *Valeurs de la force électromotrice, d'un élément Latimer-Clark soumis à des radiations ultraviolettes.*

DURÉE h	mn	s	TEMPÉRATURE θ en degrés centésimaux	FORCE électromotrice lue volts	FORCE électromotrice calculée volts	DIFFÉRENCE entre les valeurs lues et les valeurs calculées volts
Pendant la période d'élévation de la température.						
0	0	0	24	1,42127	1,420123	0,001147
0	1	40	27	1,42125	1,417259	0,003991
0	8	0	27	1,42090	1,417259	0,003641
0	11	30	28,5	1,42055	1,415206	0,005344
0	14	30	30	1,42027	1,413122	0,007148
0	19	0	34,5	1,41917	1,406680	0,012490
0	24	0	35	1,41767	1,405947	0,011723
0	30	30	42	1,41370	1,397204	0,016496
0	37	0	46	1,40865	1,392150	0,016500
0	40	25	48	1,40645	1,385654	0,020796
0	48	15	53	1,40305	1,377219	0,025831
0	55	15	58	1,40025	1,368434	0,031816
1	1	55	61	1,39535	1,362995	0,032355
1	1	55	65	1,38260	1,355547	0,027053
1	23	10	66	1 37910	1,353650	0,025450
Pendant la période de diminution de la température.						
0	22	20	42	1,39255	1,397204	0,004654
0	33	45	39	1,39890	1,399955	0,001055
0	37	25	37	1,40080	1,402979	0,002179
0	53	0	35	1,40550	1,405947	0,000447
1	3	0	33,5	1,40740	1,408236	0,001036
1	18	30	31	1,40920	1,411715	0,002615
1	23	0	30	1,41050	1,413122	0,002622
1	35	0	30	1,41140	1,413122	0,002722
1	48	0	30	1,41220	1,413122	0,000922
1	58	0	30	1,41265	1,413122	0,000472
2	11	0	29,5	1,41310	1,413915	0,000825
2	21	0	29	1,41330	1,414515	0,001215
2	37	0	29	1,41340	1,414515	0,001115
3	7	0	28	1,41375	1,415894	0,002144
3	23	0	28	1,41385	1,415894	0,002044

la pile et a constaté que le phénomène ne se produisait plus ; il en conclut que l'élément sensible à ces radiations est le

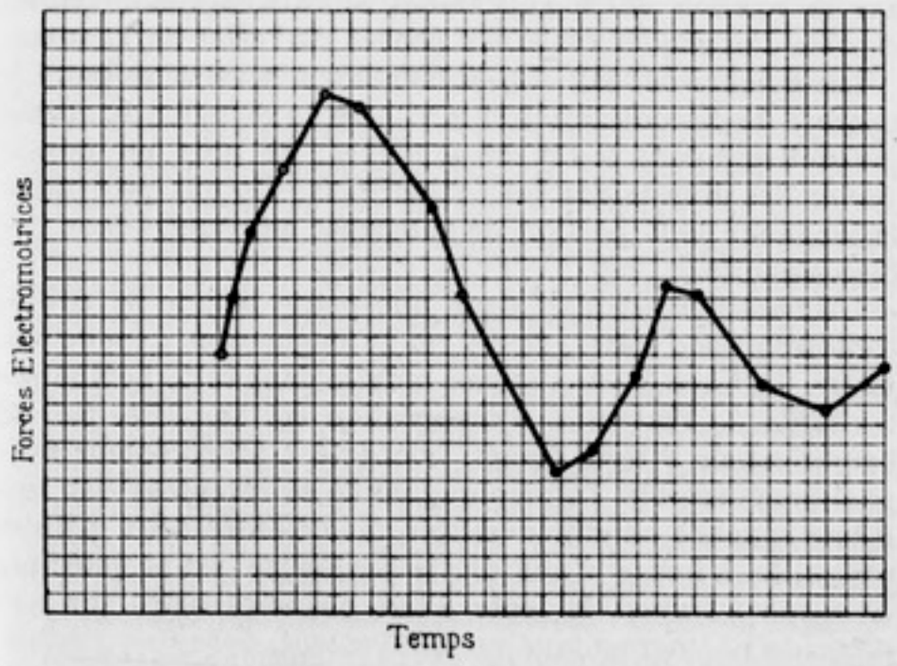


Fig. 1. — Courbe montrant la variation en fonction du temps de la force électromotrice d'un élément Latimer-Clark soumis à l'action de rayons ultraviolets.

sulfate mercureux qui se transforme, partiellement au moins, en sulfate mercurique.

Des résultats obtenus avec le même élément soumis à l'action des rayons X conduisent à la courbe de la figure 2, montrant les variations de la force électromotrice, en fonction du temps, à la température de 24° C. L'action de ces rayons est moins sensible que celle des rayons ultraviolets ;

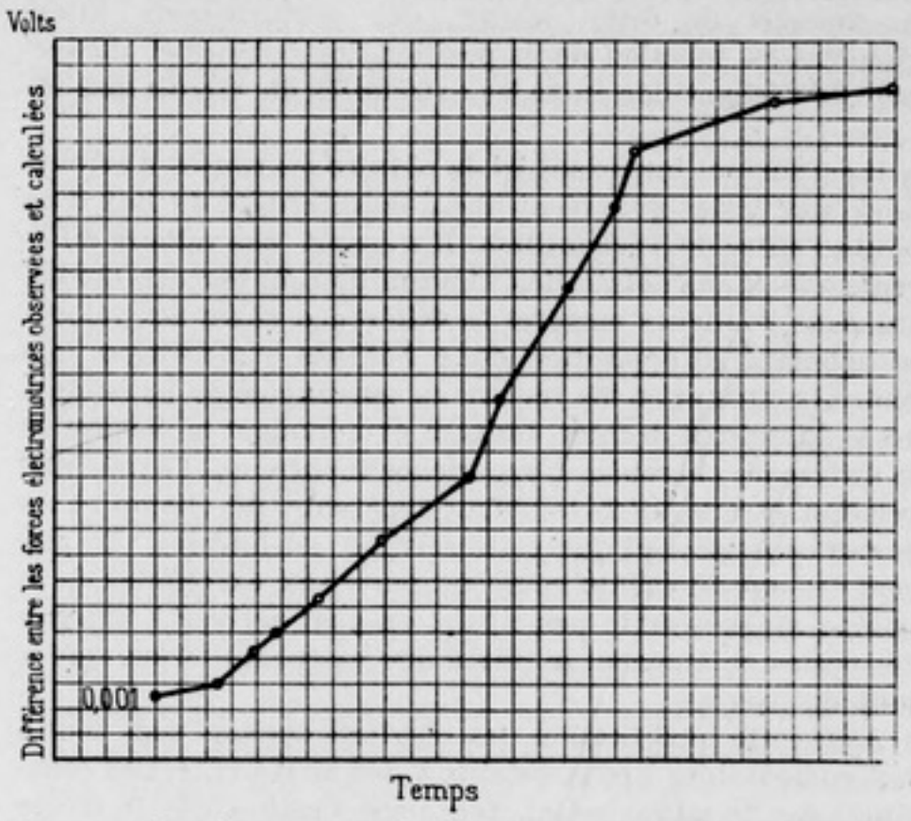


Fig. 2. — Courbe montrant la variation en fonction du temps de la différence entre les forces électromotrices observées et calculées d'un élément Latimer-Clark soumis à l'action de rayons X.

elle se traduit en effet par des écarts sur la quatrième décimale seulement. De plus, le phénomène est réversible et a une nature oscillatoire, les oscillations étant amorties.

L'auteur conclut en faisant ressortir l'influence de la longueur d'onde des radiations auxquelles est soumis l'élément et celle de la température. Il y aurait intérêt, pour mieux comprendre le mécanisme du phénomène, à poursuivre des recherches dans cette voie sur d'autres éléments. — A. C.

Mesures précises de la perméabilité de barreaux droits et de lames dans les régions de haute perméabilité (1).

1. INTRODUCTION. — La mesure des perméabilités n'offre de grandes difficultés que dans les régions de champ faible où la perméabilité est très grande. Une étude approfondie des causes d'erreurs est nécessaire si l'on veut arriver à une grande précision pour des champs dont l'intensité est inférieure à 15 gauss.

Pour produire l'aimantation des échantillons étudiés, les auteurs utilisent un appareil constitué par une bobine magnétisante et par un circuit magnétique qui se ferme par l'intermédiaire de l'échantillon. A cet effet, ce dernier, placé suivant l'axe de la bobine est serré entre deux mâchoires portées par chacune des moitiés du circuit magnétique. Une bobine, placée au milieu du barreau et connectée à un galvanomètre balistique sert, à mesurer l'induction B. Deux autres séries de bobines interchangeables placées de chaque côté du barreau servent à mesurer le champ H après détermination préalable, pour chacune d'elles, du produit NS de leur section S' par leur nombre de spires N.

(1) E.-E. WEBB et L.-H. FORD. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, novembre 1929, t. LXVII, p. 1302-1316, 11 000 mots, 9 figures, 10 tableaux.

2. Conditions d'utilisation de l'appareil. — L'expérience montre que pour des champs *H* supérieurs à 15 gauss, l'appareil est utilisable sans précautions spéciales et permet d'atteindre une précision de 1 pour 100 dans les mesures. Au-dessous de cette valeur, des perturbations interviennent en fonction de la position des bobines et du serrage de l'échantillon entre les extrémités du circuit magnétique.

Il est surtout important ici de réduire les causes d'erreurs dues aux pertes qui créent une nonuniformité du flux d'un bout à l'autre de l'échantillon. Il s'ensuit des valeurs différentes de *B* aux extrémités et au milieu du barreau étudié. On peut d'ailleurs mesurer la différence entre ces valeurs en montant en opposition deux bobines exploratrices aux endroits cités et en les reliant au galvanomètre balistique. La lecture de ce dernier donnera évidemment la mesure de la différence cherchée. L'expérience montre qu'il existe une relation étroite entre la valeur apparente du champ et les pertes constatées et que cette relation est linéaire. En plaçant des enroulements compensateurs aux extrémités de la bobine magnétisante principale, on peut arriver à annuler ces pertes en amenant le flux à une valeur uniforme tout le long du barreau.

Avec cette modification les résultats obtenus sont tout à fait comparables à ceux relatifs à des anneaux fermés constitués par le même métal. Toutefois, l'utilisation du même métal sous ces deux formes différentes conduit à des valeurs de *B* qui diffèrent d'une fraction constante pour un champ donné, jusqu'à des valeurs de *H* égales à 50 gauss où la différence atteint 0,5 pour 100. Cette observation est relative à des échantillons recuits avec soin et refroidis ensemble très lentement.

Dans les mesures faites avec l'appareil ainsi normalement compensé, de nouvelles erreurs peuvent s'introduire si la réluctance du joint entre l'échantillon et le reste du circuit magnétique est trop grande. C'est ce qui se produit, en particulier, lorsque l'on emploie des échantillons courts qui nécessitent l'usage de pièces intermédiaires. La réluctance du circuit augmente avec le nombre des joints. Toutefois, lorsqu'il n'y a pas nécessité, pour la compensation normale des pertes, de monter en opposition les enroulements compensateurs et l'enroulement principal, on peut négliger la cause d'erreurs due à la réluctance des joints. Il en est de même de celle qui peut provenir de l'emploi obligé, pour les champs faibles, de bobines exploratrices épaisses dont une partie est de ce fait relativement éloignée du barreau.

Dans l'ensemble et sous réserve de respecter les conditions précédentes, la méthode permet d'atteindre une précision de 1 pour 100 pour des valeurs du champ de 10 gauss. Elle reste encore de 2 à 3 pour 100 pour des valeurs du champ de l'ordre de 0,5 gauss.

3. Conditions que doit remplir l'échantillon étudié. — Il y a lieu d'étudier maintenant les erreurs qui peuvent provenir, non plus de l'appareil utilisé, mais des efforts mécaniques auxquels peuvent être soumis pendant les mesures, les échantillons eux-mêmes. On sait que la présence de tensions dans le métal peut amener la perméabillté à n'avoir plus que les trois quarts de sa valeur à l'état d'équilibre.

Dans le cas de barreaux pleins, souvent déformés dans le four à recuire, il est aisé d'éviter de les déformer à nouveau par serrage entre les mâchoires de l'appareil en munissant celles-ci d'alvéoles sphériques épousant la forme des sphères dont on munit l'extrémité des échantillons.

Pour les métaux en lames, le moindre effort peut amener des déformations importantes. Dans les expériences faites sur des anneaux, on est obligé de bobiner tous les enroulements sur l'échantillon même. On aplatit ainsi plus ou moins l'anneau en y créant des tensions nuisibles. Il est alors recommandable d'enfermer l'anneau dans une boite circulaire en ébonite et d'enrouler les bobines sur cette boite.

Pour des mesures faites sur des faisceaux droits, la méthode habituelle dans laquelle les bobines sont simplement enfilées sur l'échantillon présente peu de causes d'erreur. Il faut seulement tenir compte de ce que, le faisceau de lames étant serré entre les extrémités du circuit magnétique, le flux traverse les lames extérieures avant d'atteindre les lames situées au centre du faisceau. La réluctance de l'intervalle entre les lames étant variable, il s'ensuit une erreur importante, surtout dans le cas où, les bobinages n'étant pas faits sur l'échantillon même, les lames ne se trouvent pas serrées sur toute leur longueur. Pour éviter ce défaut, il est préférable de placer le faisceau de telle sorte que les lames se présentent de champ aux extrémités du circuit magnétique afin que le flux passe directement à travers chaque élément du faisceau.

Comme on l'a déjà noté plus haut, tous ces effets deviennent négligeables si le champ est supérieur à 15 gauss. D'une façon tout à fait générale les mesures de perméabilité dans des champs de grande intensité pourront donc être conduites sans s'entourer des précautions spéciales qui sont exposées dans cette étude. — A. A.

Les discontinuités d'aimantation dans le fer et le nickel (1).

On sait que Barkhausen a découvert en 1919 que, lorsqu'on aimante le fer au moyen d'un champ magnétisant continument variable, l'aimantation peut varier de façon discontinue. Depuis cette découverte, le phénomène a été étudié sur une large échelle, mais il semble que l'accord ne se soit pas encore fait sur l'explication de ces discontinuités. Tyndall (1924) considère que la théorie défendue par Gerlach et Lertes (1921) et par Zschiesche (1922), selon laquelle l'effet serait la conséquence d'une magnétostriction, est peu justifiée. D'autre part, la théorie de Mc Keehan (1926), basée sur la relation entre l'étirement et l'aimantation, semble capable d'expliquer certaines phases de l'effet Barkhausen.

Les auteurs ont fait des mesures sur la relation entre le nombre de discontinuités et la vitesse de variation du champ magnétisant dans le fer et le nickel ; de plus, en faisant varier les dimensions des échantillons, ils ont pu estimer la longueur de la portion de substance impliquée dans une discontinuité.

L'échantillon est placé dans une petite bobine de fil fin, d'environ 2 000 spires, de 0,5 cm de longueur et 1 cm de diamètre. La force électromotrice induite dans cette bobine par les sauts de l'intensité d'aimantation est amplifiée par un amplificateur à trois étages, connecté à un récepteur téléphonique sensible. Le diaphragme de ce récepteur est lui-même couplé à un mince miroir monté entre deux pointes d'aiguille. L'image d'une droite lumineuse est projetée par ce miroir à travers la fente d'une chambre noire sur une pellicule photographique en mouvement, avec une graduation convenable de l'échelle des temps.

Le champ magnétisant est produit par un solénoïde entourant l'échantillon, et sur le circuit duquel est disposée une résistance continument variable ; l'intensité du courant magnétisant est indiquée par un milliampèremètre. A

(1) C.-W. Heaps et J Taylor. *The physical Review*, 15 septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 937-944, 2500 mots, 2 figures, 1 tableau.

l'aiguille de ce milliampèremètre est fixé verticalement un léger fil d'aluminium disposé de façon à traverser la fente horizontale de la boîte quand le courant passe. Deux fils fins disposés en travers de cette fente servent de lignes de référence, par rapport auxquelles la position de l'aiguille, donc l'intensité du courant, peut être déterminée à chaque instant. Le courant est choisi de façon à laisser l'échantillon sur la portion rapidement ascendante ou descendante des courbes du cycle d'hystérésis.

Chaque impulsion de Barkhausen produit un bruit sec au récepteur, et un tracé caractéristique sur la pellicule.

On a ainsi déterminé le nombre d'impulsions correspondant à un petit changement donné de l'intensité d'aimantation, pour différentes vitesses d'aimantation. Pour de grandes vitesses, il paraît y avoir des discontinuités plus nombreuses et aussi plus petites lorsque la vitesse diminue légèrement. Si au contraire, on réduit grandement la vitesse, il y a moins de discontinuités dans les échantillons ordinaires que pour les grandes vitesses.

On estime que la longueur de la portion de substance associée à chaque discontinuité est de 2 à 3 mm ; le volume correspondant est de l'ordre de 10^{-7} cm^3.

On a ensuite établi une méthode destinée à déterminer le cycle d'hystérésis de très petits échantillons. L'échantillon, maintenu par un support élastique, est monté sur l'axe d'un solénoïde, et l'on mesure sa déviation avec un microscope, lorsqu'il passe dans le solénoïde des courants de diverses intensités. Pour un petit morceau de fil de nickel, on trouve que la courbe est formée de quelques discontinuités, séparées par des portions continues.

Les résultats des auteurs sont en désaccord avec ceux récemment publiés par Bozorth, qui a trouvé qu'une partie considérable de la courbe d'hystérésis s'explique complètement par les discontinuités observées.

Les auteurs suggèrent, pour expliquer l'effet Barkhausen, qu'il résulterait d'une magnétostriction se produisant à divers degrés dans les diverses parties du métal, dont l'homogénéité n'est jamais réalisée. Il en résulterait des tensions locales, auxquelles la matière céderait de temps à autre de façon discontinue, en produisant les sauts observés de l'induction. — L. B.

Une théorie générale du plasma d'arc (1).

Il existe de nombreuses preuves que la grande majorité des électrons libres contenus dans le plasma d'une décharge gazeuse possèdent une distribution de vitesses conforme à la loi de Maxwell. Les températures auxquelles correspondent ces distributions de vitesses se montrent comprises entre 5 000 et 70 000° K. La méthode de mesure de ces températures repose sur la connaissance de la distribution de densités de Boltzmann que prennent les électrons dans la gaine qui entoure un collecteur chargé négativement.

Quant aux ions positifs, ils ne peuvent pas être l'objet de mesures directes, pour diverses raisons. La preuve immédiate que ces ions possèdent des vitesses considérables repose sur la valeur du courant de saturation qui parvient à un collecteur chargé négativement. D'autres expériences ont également conduit à ces conclusions au sujet des vitesses considérables des ions positifs, et la conception d'une distribution désordonnée de vitesses des ions positifs a été généralement utilisée pour expliquer une multitude d'observations ; et cependant, il n'y a pas eu de détermination convaincante de la répartition des vitesses et d'autre part, l'hypothèse de grandes vitesses désordonnées a donné lieu à de très grosses difficultés théoriques.

Il est plus rationnel de supposer que chaque ion part du repos et qu'il possède ensuite la vitesse acquise sous l'action du champ. Ce nouveau point de vue attribue ainsi aux ions positifs des mouvements qui, pour les grands parcours libres, sont ordonnés plutôt que chaotiques, chaque corps négatif au contact avec la décharge recueillant les ions d'une région déterminée du plasma et de cette région seulement. Les auteurs ont établi les équations intégrales qui résultent de cette manière de voir, pour la distribution des potentiels dans la gaine de plasma, dans les cas de plasmas plans, cylindriques ou sphériques, pour des libres parcours d'ions longs, courts et intermédiaires, et pour le cas où le degré d'ionisation est soit constant dans tout le plasma, ou au contraire proportionnel à la densité électronique ; ces équations ont été résolues, en ce qui concerne la répartition des potentiels dans le plasma, dans tous les cas importants.

Le cas de faibles libres parcours d'ions dans un cylindre, avec formation d'ions de vitesse proportionnelle à la densité électronique donne la même répartition des potentiels que celle trouvée pour la colonne positive par Schottky en faisant usage de théorie de diffusion ambipolaire, avec les avantages que l'ambipolarité et la quasineutralité n'ont pas besoin d'être énoncées à titre de postulats. La répartition calculée des potentiels est conforme à celle trouvée expérimentalement. La différence de potentiel entre le centre et le bord du plasma est voisine $\frac{T_e}{11\,600}$, en volts, dans tous les cas d'ions à grand libre parcours, où T_e est la température des électrons. La théorie fournit deux équations : l'une, l'équation du courant d'ions, égale simplement le nombre total d'ions atteignant la paroi du tube à décharge au nombre total d'ions engendrés dans le plasma, mais elle introduit une nouvelle méthode pour le calcul de la densité d'ionisation ; la seconde, l'équation d'équilibre du plasma, constitue une relation entre la vitesse de formation des ions, le diamètre du tube à décharge (supposé cylindrique), et la température électronique. Elle peut servir à calculer la vitesse de formation des ions. La différence de potentiel entre le centre du plasma et une paroi non inductrice, calculée au moyen de l'équation du courant d'ions, concorde avec celle trouvée expérimentalement.

La solution de l'équation générale du système gaine et plasma a été étendue à la gaine entourant le plasma afin de miner la correction du premier ordre à retrancher du rayon du tube à décharge pour obtenir le rayon du plasma. La gaine de la colonne positive au contact de la paroi a une épaisseur multiple de celle donnée par l'équation simple relative à la charge spatiale.

En réalité, les ions ne partent pas du repos au moment où ils se forment, mais ils ont les petites vitesses distribuées au hasard correspondant à la température du gaz T_g. Dans les cas d'ions à grand libre parcours, ceci conduit à une erreur de l'ordre de seulement $\frac{T_g}{T_e}$ dans la distribution calculée des potentiels.

Dans le plasma entourant un fil explorateur fin et chargé négativement, la différence de potentiel entre le point du plasma où le potentiel est maximum et le bord de la gaine peut être si petite que les ions formés dans la région du plasma où le potentiel est maximum ne sont pas captés, mais peuvent franchir le maximum en vertu de leurs vitesses initiales finies. Ceci justifie l'emploi d'un fil fin chargé négativement, à la manière usuelle, pour mesurer les concentrations d'ions positifs, bien que certaines diffi-

(1) L. Tonks et I. Langmuir. *The physical Review*, 15 septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 876-922, 15 000 mots, 12 figures.

cultés apparaissent, qui semblent liées à la théorie du collecteur plutôt qu'à la présente théorie du plasma.

Un fil explorateur chargé positivement recueille les électrons de la même manière qu'il a été supposé antérieurement, sauf que la gaine qui l'entoure est considérablement amincie par la présence d'ions engendrés dans la gaine.

L'équation d'équilibre du plasma complète le nombre de relations nécessaires pour déterminer complètement les conditions qui règnent dans une colonne positive. Prenant l'intensité du courant d'arc comme variable indépendante, les cinq variables à déterminer sont le champ électrique axial, la densité d'ionisation, la température électronique, l'intensité du courant d'ions positifs se rendant à la paroi et la vitesse de formation des ions positifs. Les cinq relations qui déterminent ces grandeurs sont : l'équation d'équilibre du plasma, l'équation du courant d'ions, une équation de formation des ions, une équation de mobilité et une équation de conservation de l'énergie. La nature essentielle de ces relations est reconnue, en dépit de ce que notre connaissance est encore insuffisante pour les écrire toutes complètement.

Les auteurs n'ont pas considéré ici la question de la stabilité dans la colonne positive. Il est possible qu'une instabilité d'un type ou l'autre soit capable de conduire à des oscillations susceptibles d'apparaître dans l'arc. — L. B.

Ondes électroniques (1).

La diffraction et la réflexion des flux électroniques par les métaux et les cristaux présente des analogies frappantes avec les phénomènes observés dans le cas des rayons X. Plusieurs résultats expérimentaux des plus intéressants ont été déjà trouvés dans cet ordre de recherches.

Depuis deux ans environ que l'on connaît l'analogie de la diffraction des électrons et des rayons X par les cristaux, on peut retenir trois faits importants, d'ailleurs encore à l'étude, relatifs à la réfraction et à la réflexion des électrons.

En premier lieu il est à peu près établi actuellement qu'un électron de moment p se comporte comme une vibration de longueur d'onde $\lambda = \frac{h}{p}$. Des observations ont été faites, en vue de vérifier l'exactitude de la formule de de Broglie, sur les figures de diffraction à travers des cristaux, isolés ou de minces lames métalliques. Les expériences ont porté sur des électrons dont les vitesses correspondaient à des potentiels de 10 000 à 80 000 v. Les longueurs d'onde observées variaient de 4 à 0,05 Å, vérifiant ainsi à moins de 1 pour 100 près la formule de de Broglie.

Dans un autre ordre d'idées, les expériences de Germer et de l'auteur et celles de Rupp, d'autre part, ont permis d'affirmer l'existence d'une réfraction des électrons. Si on fait réfléchir un flux d'électrons à faible vitesse — environ 130 v — sur un cristal de nickel, on obtient dans le faisceau réfléchi trois directions d'intensité maximum. L'une correspond à la réflexion régulière ; les deux autres font avec la normale des angles de 12° et 19° respectivement, de part et d'autre de celle-ci, l'angle d'incidence étant 44°. Ces angles ne correspondent pas exactement à ceux que permet de calculer la réflexion sur les diverses couches d'atomes situées près de la surface. Il est probable que les différences proviennent de la réfraction des électrons à travers les couches d'atomes, réfraction qui serait d'ailleurs observable avec les rayons X si l'indice de réfraction des métaux était moins voisin de l'unité. En tenant compte de cette observation et en se rapportant au réseau fermé par les rangées d'atomes perpendiculaires au plan d'incidence, on peut calculer les longueurs d'onde correspondant aux deux directions envisagées. Ces valeurs sont respectivement 1,05 Å et 1,10 Å, la constante du réseau étant de 2,15 Å. La valeur moyenne est bien égale à la valeur 1,074 Å qui donne la formule de de Broglie pour un potentiel d'émission de 130 v.

Il ne faut cependant pas appliquer prématurément les lois de la réfraction ordinaire aux électrons. En particulier, on ne sait rien de la variation de l'indice avec la longueur d'onde. Certains travaux de Rupp, qui utilise la réfraction à travers de minces lames métalliques pour en calculer l'indice, ont été mis en doute. La question doit être encore étudiée.

En troisième lieu, la question se pose de savoir si la réflexion des flux d'électrons s'accompagne d'une polarisation des faisceaux réfléchis, ce qui jusqu'ici avait paru peu probable. Le docteur Germer et l'auteur ont utilisé, pour vérifier ou infirmer le fait, un appareil analogue au dispositif de Norrenberg, en remplaçant les miroirs par deux cristaux de nickel. L'intensité du faisceau réfléchi sur le deuxième cristal s'est montré constante quel que soit l'azimut de celui-ci — les angles d'incidence étant de 45° — et cela, à la précision des mesures, qui atteint 1 à 0,5 pour 100. Il n'y a donc pas de polarisation par réflexion.

A côté de ces résultats généraux il est intéressant de signaler un travail de Kikuchi sur la diffraction par une mince lame de mica. Les figures obtenues sont identiques à celles qui seraient données par une seule couche d'atomes, bien que la lame utilisée soit 50 fois plus épaisse. Il est probable que le clivage, si aisé pour de si minces lames, amène des variations de l'équidistance des couches d'atomes. Les longueurs d'onde utilisées étant environ 200 fois plus petites que cette équidistance, les moindres variations de cette dernière créent des déphasages considérables et, par suite, une complète incohérence des faisceaux réfractés dont chacun agit séparément sur la plaque photographique. Cela expliquerait l'aspect présenté par les clichés.

Il est à remarquer qu'on ne peut jusqu'à présent mesurer que des longueurs d'onde et non pas des fréquences ou des vitesses vibratoires. Il serait souhaitable, pour avoir des données absolues, que les difficultés inhérentes à ces mesures, en apparence insurmontables, fussent levées. — A. A.

(1) C.-J. Davisson. *Journal of the Franklin Institute*, novembre 1929, t. ccviii, p. 595-604, 2 400 mots, 6 figures.

Perfectionnement à la technique de l'obtention de l'effet Raman et cas particulier des gaz (1).

L'auteur s'est efforcé d'obtenir, d'une part, une source d'excitation rigoureusement monochromatique et, d'autre part, un meilleur montage pour l'observation de l'effet Raman dans les gaz.

Jusqu'à ce jour les raies de l'arc au mercure les plus employées pour exciter l'effet Raman n'ont pu être filtrées avec assez de soin pour isoler une raie unique et réaliser une source absolument monochromatique. Chaque raie excitant un spectre particulier, il s'ensuit une confusion qui ne peut être levée qu'après le calcul long et fastidieux de chacune des fréquences correspondant aux raies obtenues. On se trouve d'ailleurs arrêté dans la recherche de radiations monochromatiques par la faible intensité des sources. Celle

(1) R.-W. Wood. *Journal of the Franklin Institute*, novembre 1929, p. 617-626, 2 900 mots, 5 figures.

qui parait réunir, à ce double point de vue, le plus de qualités, est un tube à hélium, dont la lumière, filtrée à travers un écran de verre coloré à l'oxyde de nickel, ne contient plus qu'une raie intense de 3888,6 Å.

Le tube luminescent est enroulé en hélice serrée autour d'un cylindre de verre à l'oxyde de nickel, qui constitue le filtre. A l'intérieur de ce cylindre se trouve un deuxième tube contenant le liquide étudié. L'une des extrémités en est plane et transparente, l'autre est noircie pour former le fond sombre sur lequel on observera le spectre de Raman. Avec des temps de pose de 8 à 16 heures — le tube à hélium étant alimenté sous 20000 v — on obtient pratiquement un spectre unique qui peut être agrandi et comparé à une échelle de longueurs d'onde établie à l'avance. Cette échelle est faite en se basant sur l'hypothèse que les fréquences des bandes d'absorption dans l'infrarouge correspondent aux différences entre la fréquence des raies du spectre de Raman et celle de la radiation incidente de 3888 Å. Les expériences ont porté sur neuf types d'alcools ainsi que sur la benzine et dix de ses produits de substitution. Les spectres sont tous caractérisés par un grand nombre de raies intenses au voisinage de 3,4 μ et par l'absence complète de toute raie entre ce point et 6μ.

Dans les cas où l'on emploie l'arc au mercure, il peut être parfois nécessaire de refroidir le tube de Raman, si l'on opère avec des corps très volatils. Pour cela, le tube est placé à l'intérieur d'un tube plus large et on établit une circulation d'eau entre les deux. Au besoin cette eau peut être colorée pour constituer un filtre.

En opérant sur les gaz, et en particulier sur le gaz chlorhydrique, l'auteur a observé, dans le spectre de Raman, une seule raie de $\lambda = 4581{,}8$ Å correspondant à une raie manquante dans la bande d'absorption infrarouge à 3,4645 μ. La valeur trouvée ici pour cette raie soit 3,466 μ, correspondait exactement à la valeur calculée par le professeur Kemble pour la raie manquante. Les observations analogues ont été faites avec NH^3.

Pour ces expériences, le tube utilisé était accolé à un long tube Cooper-Hewitt et l'ensemble des deux tubes était entouré de bandes en feuilles d'aluminium polies, faisant office de réflecteurs. La lumière émise par le tube de Raman était limitée par un diaphragme de platine placé à l'intérieur du tube. Ce dernier était terminé par une ampoule dont la partie antérieure était amincie à l'extrême par soufflage pour permettre d'observer l'intérieur du tube. Le temps de pose était d'environ cinq heures. — A. A.

Caractéristiques de fonctionnement des cellules photoélectriques (1).

De nombreuses études ont été publiées sur les propriétés des cellules photoélectriques au point de vue physique, mais il en est peu qui les envisagent au point de vue technique. Les usages des cellules sont maintenant assez développés pour qu'il soit intéressant de constituer une terminologie technique et d'étudier les caractéristiques d'utilisation ; tel est le but de cet article.

1° *Définitions et unités photométriques.* — L'auteur rappelle les grandeurs photométriques : flux lumineux, intensité, éclairement, et les unités utilisées en Amérique.

2° *Caractéristiques des cellules photoélectriques.* — Deux types principaux de cellules sont employés : les cellules à vide et les cellules à gaz. Dans ces dernières, la pression du gaz inerte correspond à celle d'une colonne de mercure de 20 à 150 microns de hauteur. La caractéristique de la tension d'anode en fonction du courant d'anode, avec un flux incident constant, de la cellule à vide, ressemble à celle d'une lampe à deux électrodes saturée ; la présence d'un gaz modifie nettement la forme de la courbe qui s'infléchit rapidement vers les courants croissants à partir d'une certaine tension.

En laissant constante la tension d'anode et en faisan varier le flux lumineux, on obtient un courant qui est sensiblement proportionnel à ce flux.

Si l'on module le flux lumineux à haute fréquence, l'émission électrique suit bien les variations (et le courant de la cellule à vide également), mais le gain de sensibilité dû au gaz décroit très vite avec la fréquence.

3° *Termes photoélectriques.* — La *sensibilité* est la pente de la courbe du flux lumineux en fonction du courant d'anode au point considéré ; c'est $S = \frac{di_a}{dl}$, i_a étant le courant d'anode et l le flux.

La *conductance par lumen* est égale au rapport au flux de la pente de la courbe de la tension d'anode en fonction du courant d'anode au point considéré ; c'est-à-dire

$$G = \frac{1}{l}\frac{di_a}{de_a}.$$

Elle caractérise la tension de sortie maximum compatible avec une fidélité donnée. Dans l'analogie des triodes, elle serait l'inverse de la résistance interne.

4° *Applications.* — Les trois grandes catégories d'applications des cellules photoélectriques sont : fonctionnement en *relais à courant continu* (« ouvert » ou « fermé »); fonctionnement *linéaire en courant continu* (photométrie) ; fonctionnement *linéaire en courant alternatif* (transmission des images).

Pour étudier les conditions de fonctionnement, on fait intervenir l'impédance de charge Z et la tension à ses bornes e_0. On arrive aux équations

$$i_a = \frac{Sl}{1 + lGZ} \quad \text{et} \quad e_0 = \frac{SlZ}{1 + lGZ},$$

qui présentent une analogie de forme avec les équations correspondantes des triodes. En substituant à l une fonction sinusoïdale, on peut déterminer le rapport des harmoniques introduits au terme fondamental.

Etant donné la grande valeur de Z nécessaire pour obtenir une tension suffisante, la capacité du circuit de charge ne peut pas être négligée pour des fréquences élevées. L'impédance de charge ne peut jamais atteindre la valeur correspondant au maximum de puissance, mais doit être aussi élevée que le permettent les conditions de fidélité et de capacité.

Un appendice rappelle toutes les formules, définitions et unités utilisées en photométrie. — B. D.

(1) G.-F. Metcalf. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, novembre 1929, t. xvii, p. 2064-2071, 1500 mots, 6 figures.

La constante diélectrique des vapeurs de quelques alcools et le moment électrique des molécules de ces alcools (1).

Récemment, il a été exécuté un nombre considérable de mesures sur la constante diélectrique des liquides, dans le but de déterminer le moment électrique des molécules qui les forment. L'interprétation des résultats est basée sur

(1) J.-B. Miles. *The physical Review*, 15 septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 964-971, 2000 mots, 2 figures, 2 tableaux.

l'hypothèse que pour des solutions diluées d'un liquide polaire dans un solvant non polaire, la distance entre les molécules polaires est suffisante pour permettre l'emploi de l'équation bien connue de Debye relative à la constante diélectrique des gaz

$$3\,\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2}\,v = A + \frac{B}{T}$$

où ε est la constante diélectrique, $v = \frac{V}{V_0}$, V étant le volume moléculaire du gaz réel et V_0, celui des gaz parfaits (1), T la température absolue, et A et B des constantes données par

$$A = 4\pi N_0 \lambda \quad \text{et} \quad B = 4\pi N_0 \mu\,\frac{2}{3}\,k,$$

N_0 étant le nombre de molécules par centimètre cube de gaz parfait dans les conditions normales, λ, une constante, k, la constante de Boltzmann, et μ, le moment électrique permanent de la molécule, mesuré en unités électrostatiques. Théoriquement, la constante A est égale à $\frac{3(n^2-1)}{(n^2+2)}$, ou, lorsque n est assez voisin de 1, à $n^2 - 1$, n étant l'indice de réfraction, extrapolé pour une longueur d'onde infinie.

Deux méthodes ont été employées pour mesurer le moment électrique des molécules à l'état liquide. L'une consiste à déterminer la valeur de $A+\frac{B}{T}$ à une température, d'employer la valeur de A déduite de données optiques, et d'en tirer la valeur de $\frac{B}{T}$, donc de μ. L'autre mesure $A+\frac{B}{T}$ à diverses températures, ce qui permet d'obtenir μ uniquement à partir de mesures de ε. Les mesures se compliquent du fait que lorsqu'on diminue la concentration du liquide polaire, la valeur de ε ne varie pas proportionnellement à la concentration, de sorte qu'il faut extrapoler pour la valeur zéro de la concentration.

Comme on sait que l'équation de Debye est exactement valable dans le cas des gaz, l'auteur a pensé qu'il serait intéressant de faire des mesures sur les vapeurs de quelques liquides déjà soigneusement étudiés en solution diluée, ce qui permettrait de décider dans quelle mesure l'application de l'équation aux solutions est justifiée. Il a choisi pour cet objet quelques alcools primaires et mesuré, à diverses températures, les constantes diélectriques des vapeurs des alcools méthylique, éthylique, *n*-propylique, *n*-butylique. Aux températures élevées, où il n'y a pas d'association moléculaire, l'accord avec l'équation de Debye est satisfaisante. Les moments des molécules ont les valeurs suivantes :

ALCOOL	μ
Méthanol	$1{,}68\times10^{-18}$
Ethanol	$1{,}70\times18^{-18}$
n-Propanol	$1{,}66\times10^{-18}$
n-Butanol	$1{,}66\times10^{-18}$

Dans le cas d'association en double molécule, d'après la loi d'action de masse, si p_1 et p_2 sont respectivement les pressions partielles de la molécule simple et de la molécule double, on a la relation

$$Kp_2 = p_1^2,$$

K étant donné par l'équation de van t'Hoff

$$\frac{\mathrm{d}\log K}{\mathrm{d}T} = -\frac{Q}{RT^2},$$

Q étant la quantité de chaleur absorbée par une molécule-gramme lorsqu'elle se dissocie de double en simples molécules.

Dans le cas des deux espèces de molécules l'équation de Debye prend la forme

$$3\,\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2}\,N_0 = N_1A_1 + N_2A_2 + \frac{N_1B_1 + N_2B_2}{T},$$

N_1 et N_2 étant les nombres de molécules de chaque espèce dans 1 cm³. En utilisant les relations précitées et en appelant P la pression totale et N le nombre total de molécules on obtient

$$3\,\frac{(\varepsilon-1)N_0}{(\varepsilon+2)N} = A_1 + \frac{P}{K}(A_2 - A_1) + \frac{B_1}{T} + \frac{P}{KT}(B_2 - B_1).$$

L. B.

(1) Autrement dit $\frac{RT}{P_0}$, R étant la constante des gaz parfaits.

La conduction par les ions dans des champs électriques et magnétiques croisés (1).

Dans un précédent travail, l'auteur a montré que les ions placés dans des champs électrique et magnétique uniformes croisés se dirigent normalement au plan des vecteurs électrique et magnétique, avec la vitesse constante

$$\overline{u} = c\,\frac{|\overline{E}\times\overline{H}|}{H^2}, \qquad (1)$$

la projection de la trajectoire de chaque ion sur le plan perpendiculaire au vecteur $\overline{H}$ étant une cycloïde allongée, commune ou contractée selon la grandeur et la direction de sa vitesse initiale.

Dans le travail ci-dessus mentionné, les ions étaient supposés ne pas subir de collisions. L'objet du présent travail est d'examiner l'effet des chocs sur les trajectoires des ions et de calculer les densités de courant et les conductivités à la fois dans la direction du champ électrique, et dans la direction de la vitesse de progression u. L'auteur se limite au cas où les vecteurs électrique et magnétique sont perpendiculaires entre eux. Dans ce cas simple, la vitesse de progression suivant la normale aux ions est

$$u = \frac{cE}{H}. \qquad (2)$$

L'auteur envisage successivement le cas où les seules collisions sont celles ayant lieu entre ions et celui où les collisions ont lieu entre ions et particules neutres, le nombre de chocs entre ions étant relativement négligeable.

Premier cas. — L'auteur montre que les chocs mutuels des ions sont sans effet, le courant dans la direction perpendiculaire aux vecteurs électrique et magnétique ayant la même valeur qu'en l'absence des chocs.

Deuxième cas. — L'auteur étudie les chocs des ions libres avec des particules neutres pour le cas où la vitesse u des ions X est petite par rapport à la vitesse v d'agitation thermique. A mesure que le libre parcours moyen croît, le courant parallèle au vecteur électrique croît jusqu'à un maximum, puis tend asymptotiquement vers zéro, tandis que le courant parallèle à u croît de zéro jusqu'à la valeur limite Neu pour un libre parcours moyen infini (N est le nombre d'ions par centimètre cube et e, la charge d'un ion).

Le calcul du coefficient de Hall à l'aide de la présente théorie, qui diffère de la théorie usuelle en ce qu'elle tient compte des grands libres parcours, montre que le coefficient croît lorsque le champ magnétique croît. — L. B.

(1) L. Page. *The physical Review*, 1er septembre 1929, t. XXXIV, (2e série), p. 763-771, 2 500 mots, 5 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Traversée aérienne du canal maritime de Caen à la mer par les lignes de transmission d'énergie électrique à haute tension de l'Union électrique de l'Ouest

La traversée par les lignes aériennes du canal maritime de Caen à la mer qui fait l'objet de cet article a nécessité l'installation de deux pylônes distants de 208 mètres et d'un portique à chacune des deux extrémités. La première partie de l'étude qui suit est essentiellement descriptive: M. P. Combe y donne la spécification des lignes de transmission pour lesquelles a été prévue cette traversée et celle des deux ouvrages réalisés. Dans la deuxième partie, M. Lajus expose les méthodes de calcul appliquées à la détermination des efforts sur les conducteurs, sur les pylônes et les portiques et qui justifient les dimensions adoptées. La longueur des portées envisagées, la valeur élevée de la hauteur minimum des conducteurs au-dessus du plan d'eau, la nature du terrain peu résistant jusqu'à une profondeur de 10 mètres environ sont autant de conditions spéciales qui nécessitaient un examen approfondi du problème.

PREMIÈRE PARTIE : **Description**

I. **Généralités**. — L'Union électrique de l'Ouest exploite à Caen une usine génératrice thermique qui alimente divers réseaux de distribution, savoir : le réseau de la Société d'Electricité de Caen, qui s'étend sur le département du Calvados, une partie du réseau de la Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest dont les concessions intéressent les départements de l'Orne, de l'Eure-et-Loir, de la Mayenne, du Maine-et-Loire et de la Sarthe et dont les lignes de distribution sont en voie de liaison avec les lignes en provenance des usines hydroélectriques du Massif central, les réseaux de distribution qui se partagent le département de la Manche, appartenant à la Société Gaz et Eaux à Cherbourg, à la Société électrique de Normandie, à celles d'Electricité du Cotentin et les Forces motrices de la Sélune. Les points d'alimentation de ces divers réseaux en énergie provenant de l'Union électrique de l'Ouest sont à Caen pour le département du Calvados, à Argentan pour l'Orne et à Saint-Lô pour la Manche.

L'Union électrique de l'Ouest exploite par conséquent sous le régime d'une concession de transmission : une ligne triphasée de transmission d'énergie à 60 000 v, de Caen à Argentan, d'une longueur de 62,7 km, équipée pour la tension de 90 000 v sur isolateurs fixes et sur poteaux en béton armé centrifugé et une deuxième ligne triphasée à 60 000 v de Caen à Saint-Lô, d'une longueur de 64,7 km, équipée en partie sur poteaux en béton et en partie sur pylônes métalliques. La sortie de Caen de cette ligne a motivé l'installation d'ouvrages spéciaux pour la traversée à une hauteur convenable du canal navigable de Caen à la mer.

Ces aménagements, qui ont été mis en service au mois de juin dernier, présentent sur certains points un intérêt tout particulier, qu'il nous a paru utile de souligner dans cette revue. Ils se composent essentiellement d'une traversée rectiligne faite de plusieurs conducteurs montés sur deux portiques d'arrêt à chaque extrémité, et sur deux pylônes de grande hauteur placés chacun sur l'une des rives du canal (fig. 1).

II. **Conditions de réalisation**. — 1. Nature du sol. — Le portique d'arrêt initial n° 0, le pylône n° 1 et le pylône n° 2 avaient leur point d'implantation sur un terrain de même nature que celui sur lequel se trouve fondée l'usine génératrice.

La coupe représentative des diverses couches du sol (fig. 2) montre très nettement que les conditions de stabilité d'ouvrages de l'importance des deux grands pylônes ne pouvaient être assurées en toute sécurité qu'en s'appuyant sur la couche de sable gris, gravier et gros galets située à 12,50 m environ de profondeur, soit exactement à la cote — 3,20 m, le sol général étant à la cote de 9,30.

2. Hauteur des conducteurs au-dessus du plan d'eau. — La hauteur libre sous le conducteur le plus bas de la traversée avait été primitivement fixée à 63 m, et les études préalables étaient dirigées en partant de ces données. Toutefois, à la suite d'un examen plus approfondi de la question, l'Administration a bien voulu considérer que l'emplacement géographique de la traversée ne justifiait pas l'obligation d'une semblable hauteur. En effet, le point de passage se trouve sur le

canal de Caen à la mer entre le vieux bassin de Caen et les nouveaux bassins placés à l'aval du premier. Or, la réception de gros tonnages et de navires à mâture élevée ne se produit plus guère dans les vieux bassins de Caen, dont la capacité et l'outillage ne répondent plus aux mouvements du port, et le trafic se déplace de plus en plus vers l'aval. En tenant compte de ces considérations, il a été admis qu'une hauteur de 48 m sous

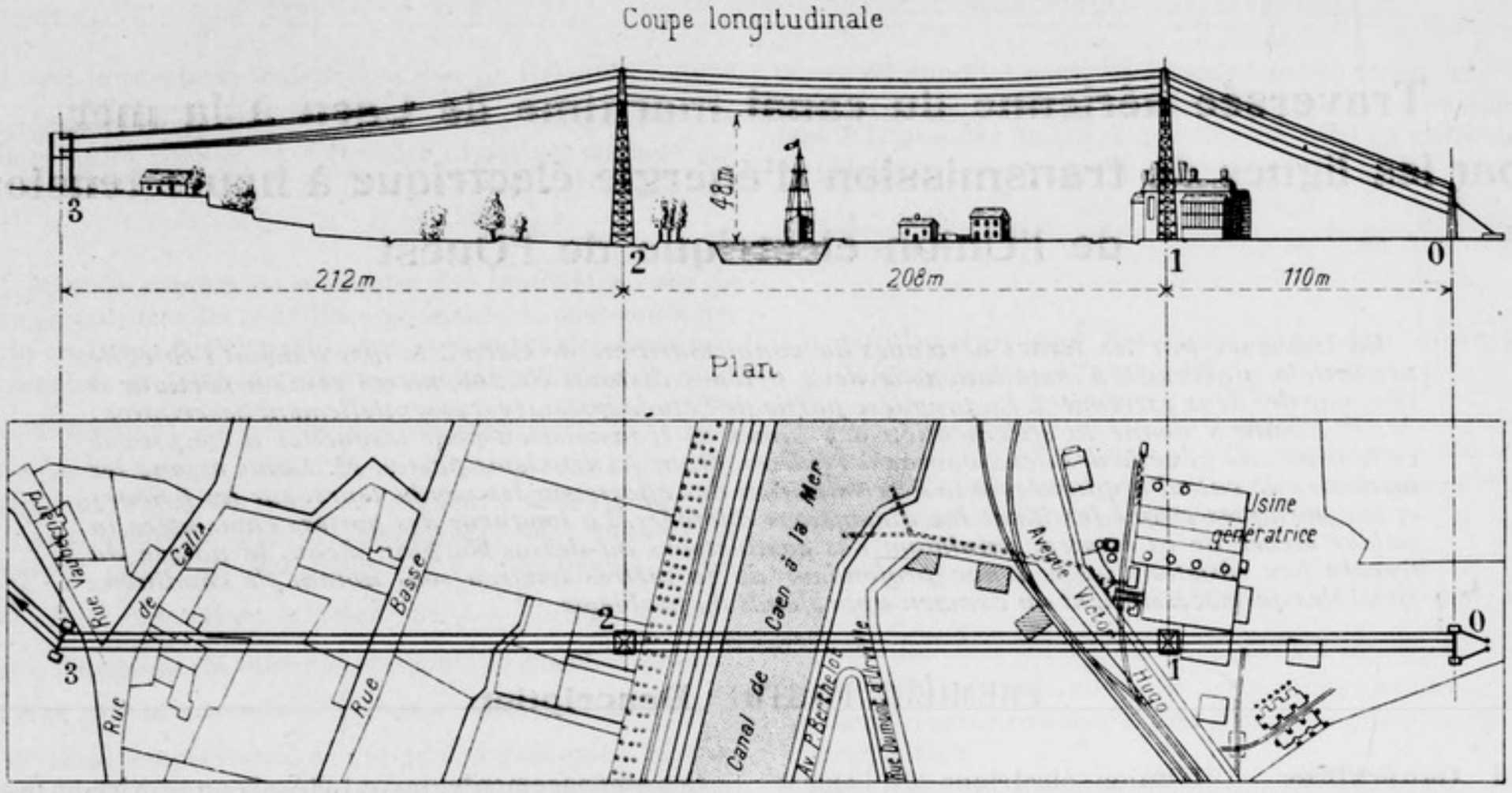


Fig. 1. — Coupe et plan général de la traversée du canal de Caen à la mer par les lignes de transmission de l'Union électrique de l'Ouest.

le fil le plus bas pouvait répondre à toutes les exigences de la navigation en ce point, et les divers services intéressés ont accepté cette dimension.

3. Coefficients de sécurité. — Les coefficients imposés sont indiqués dans la deuxième partie de cet article.

III. **Description des ouvrages.** — 1. Choix du nombre et nature des conducteurs. — Il est évident qu'une installation de cette importance ne devait pas être réalisée pour assurer une unique liaison entre l'usine génératrice et le réseau du département de la Manche. Il fallait ménager l'avenir au double point de vue du nombre de lignes et de la tension de transmission. Tenant compte de ces considérations, on a prévu dans le cadre supérieur de tête des pylônes 3 conducteurs de 72 mm² de section disposés en nappe horizontale et montés sur double chaîne d'isolateurs à 90 000 v, et, de plus, sous le cadre, et de part et d'autre des pylônes, deux lignes triphasées, de 53,7 mm² de section, avec conducteurs disposés en nappes verticales, montés sur chaînes doubles d'isolateurs à 60 000 v. En outre, deux câbles de terre de 54 mm², en bronze, comme les conducteurs précédents, sont fixés aux angles supérieurs du cadre des pylônes et recouvrent toute la traversée en formant une nappe horizontale en dessus de tous les conducteurs.

Dans le but de réduire la flèche, et partant, la hauteur des pylônes, et de tenir compte du coefficient de sécurité imposé, tous les conducteurs ont été choisis en câble de bronze ayant une résistance à la rupture de 70 à 72 kg : mm².

2. Pylônes principaux. — Les deux pylônes situés de part et d'autre du canal maritime sont identiques (fig. 3). Construits et levés par les Etablissements J. Paris, à Nantes-Chantenay, ils ont une hauteur de 65,15 m au-dessus des massifs de fondations.

La poutre à treillis constituant le pylône proprement dit comprend une partie prismatique de 53,10 m de hauteur surmontée par une partie parallélepipédique de 1,65 m de côté et de 8,50 m de hauteur supportant les potences d'armement.

Le côté du pylône à la base est de 6,70 m et au sommet de la poutre prismatique, 1,65 m.

Les montants ou membrures sont constitués par des cornières doubles assemblées en éléments de 7 m de longueur maximum. Au-dessus d'un certain niveau, les cornières deviennent simples. Les treillis horizontaux et diagonaux sont constitués par des cornières simples ou assemblées. Dans chaque face, les treillis diagonaux sont disposés par deux en croix de Saint-André.

L'assemblage des treillis aux membrures se fait au moyen de boulons, par l'intermédiaire de goussets en

tôle rivés aux membrures; les treillis sont assemblés par deux boulons au moins à chaque extrémité. Les membrures elles-mêmes sont assemblées entre elles par joints boulonnés.

Le pylône est muni d'une échelle à barreaux ronds

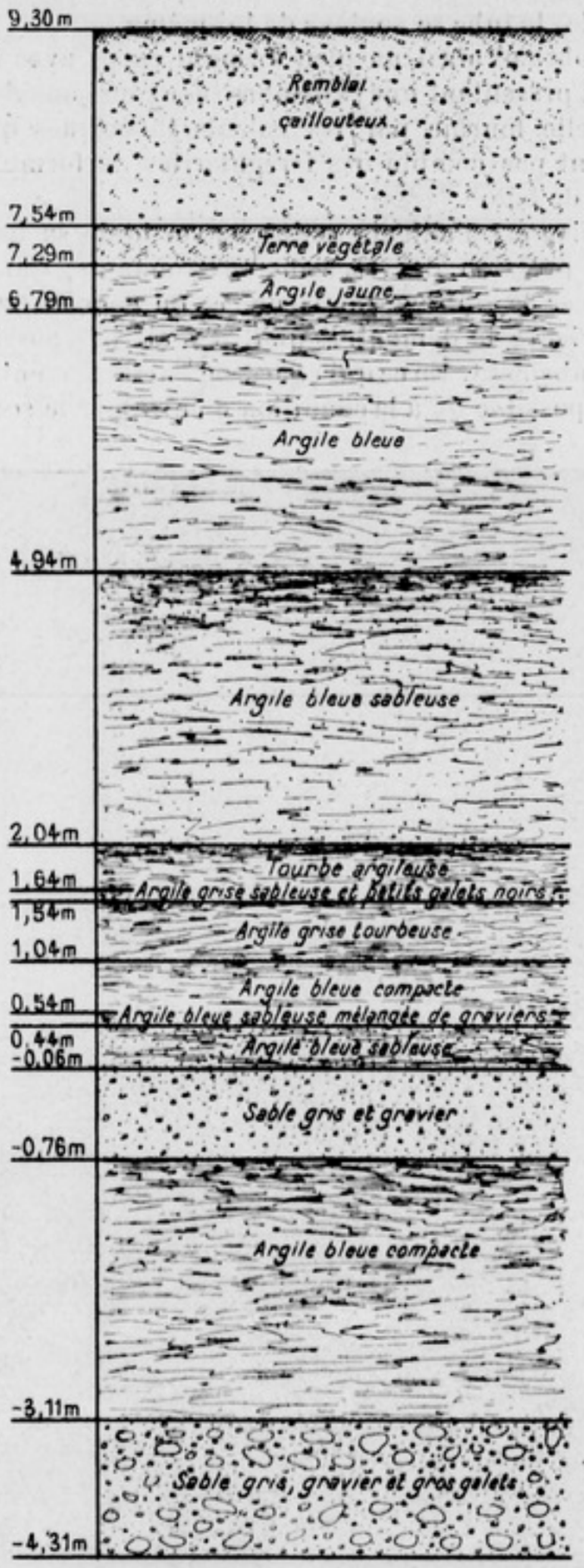


Fig. 2. — Coupe montrant les résultats des sondages exécutés sur la rive droite du canal de Caen à la mer.

permettant d'accéder au sommet. Deux paliers de repos sont en outre répartis le long du mât.

La figure 4 montre un de ces deux pylônes en cours de montage et la figure 5 donne une vue de l'ensemble des deux pylônes installés.

3. Portiques d'ancrage. — Les portiques d'ancrage n° 0 et n° 3 de la traversée ont été construits par la

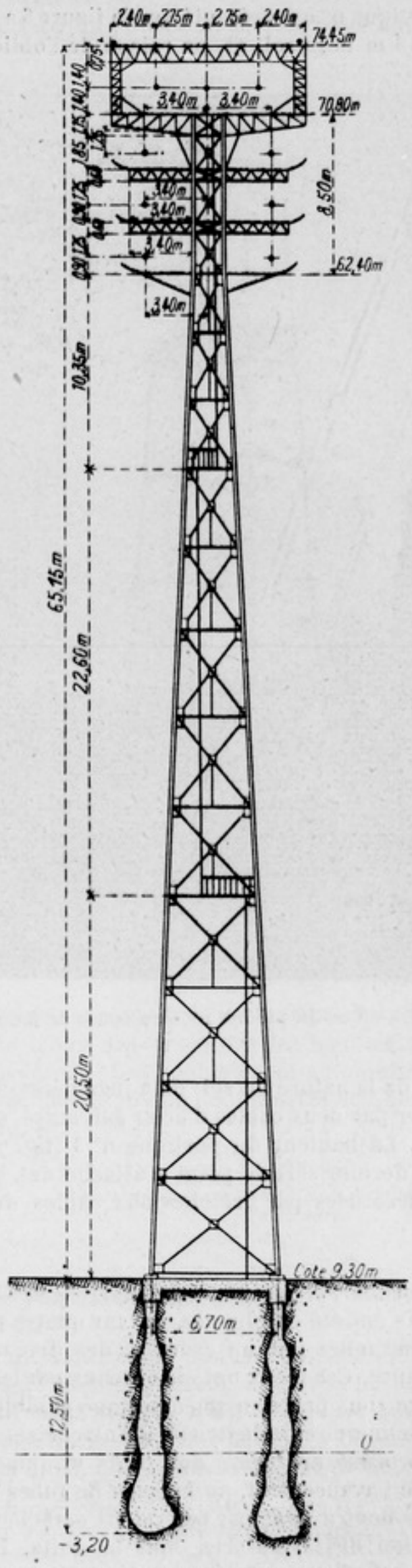


Fig. 3. — Croquis côté des pylônes n° 1 et 2.

Compagnie générale de la Construction soudée, à Paris, qui réalise par soudure autogène tous ses assemblages de fers profilés.

Le portique n° 0 représenté sur la figure 6 a une hauteur de 18 m hors sol, et, en raison de l'obliquité des

Fig. 4. — Vue du pylône n° 2 en cours de montage.

câbles et de la nature du sol, on a jugé nécessaire de le haubanner par deux câbles d'acier galvanisé munis de tendeurs. La hauteur du portique n° 3 (fig. 7) est de 25 m ; ce dernier sert de point d'attache des lignes de départ raccordées par bretelles aux câbles de la traversée.

4. Fondation des pylônes principaux. — Les pylônes principaux ont été établis chacun sur quatre pieux en béton armé reliés par un cadre et des diagonales de même nature. Ces pieux ont été obtenus par le procédé de coulage sous pression pneumatique exploité par la Société technique et industrielle d'Entreprises.

On a procédé au forage des puits et, au fur et à mesure de l'avancement, au fonçage de tubes en acier assemblés bout à bout par pas de vis étanches. Après introduction des armatures dans le puits, la partie supérieure du tube a été fermée hermétiquement par un chapeau spécial, l'eau, évacuée et le béton, injecté à l'air comprimé. Sous l'influence de la pression, le béton refoule le terrain environnant et se dame automatiquement, donnant naissance à un pieu irrégulier, muni de bourrelets aux endroits correspondant à des couches de moindre résistance. Une fois la pression suffisante atteinte, le tube se soulève de lui-même.

On obtient ainsi un pieu formant corps avec le terrain et présentant une résistance bien plus considérable que celle fournie par les calculs théoriques qui ne tiennent pas compte des irrégularités de forme de la masse de béton.

Ce pieu est d'ailleurs maintenu sur toute sa hauteur par la pression des terrains environnants, qui vient renforcer le frettage intérieur, et on conçoit, comme l'expérience le démontre, qu'il n'y ait pas possibilité de flambement. En ce qui concerne l'arrachement, il ne serait possible qu'à la condition d'entraîner le soulève-

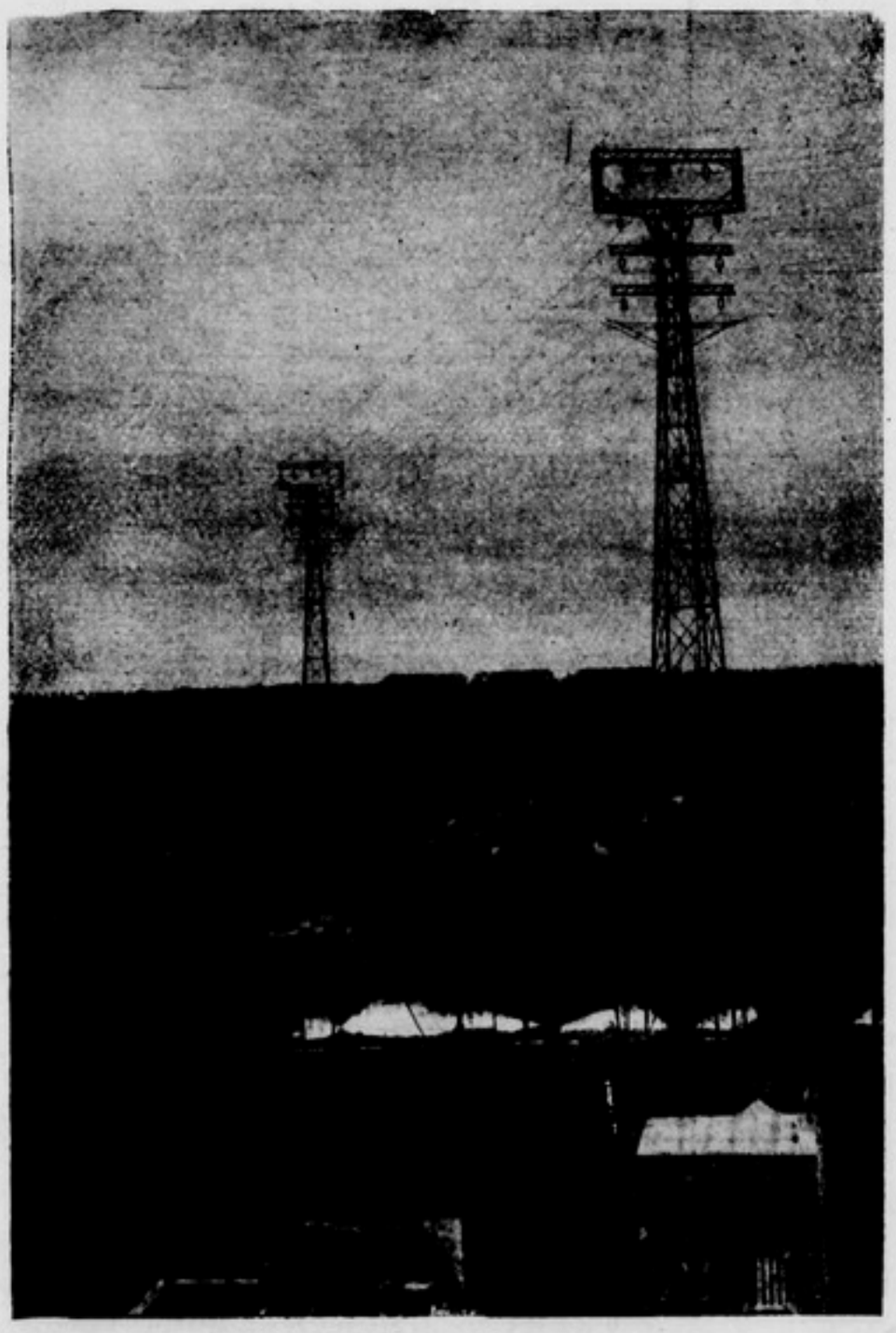


Fig. 5. — Vue d'ensemble de la traversée.

ment d'une masse de terre considérable, dont il n'a pas non plus été fait état dans les calculs.

Chaque pieu a été calculé pour un effort de compression de 32 t ou un effort de traction de 19 t et a une longueur variant de 12,20 m à 12,90 m.

La tête des pieux a été réunie par un cadre de liaison en béton armé rendu rigide au moyen de deux diagonales en béton armé. Ce cadre solidarise l'ensemble, assure une bonne liaison entre les pieux et les membrures du pylône et maintient invariable l'écartement de ces dernières.

Il n'a pas été tenu compte dans les calculs de l'assise donnée au pylône sur le terrain par ce cadre dont l'action est loin d'être négligeable pour la stabilité de l'ouvrage.

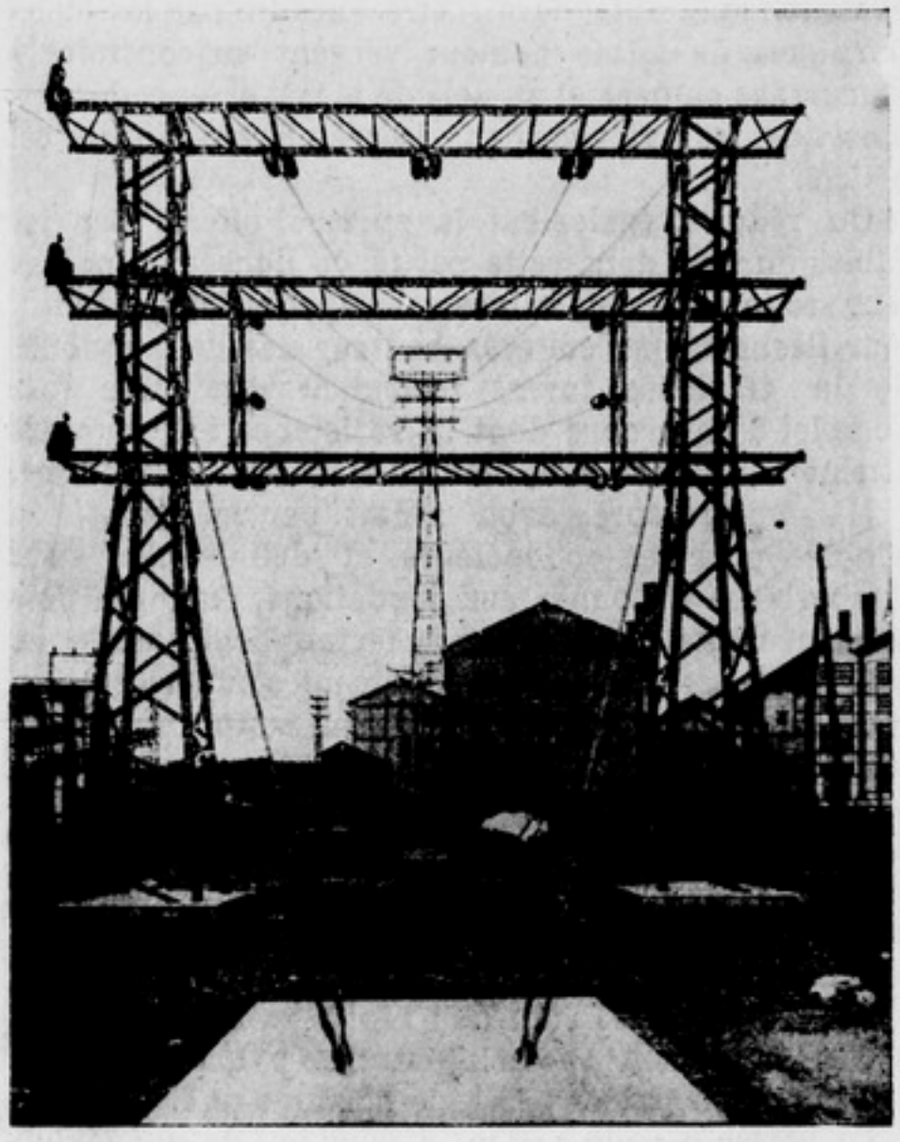


Fig. 6. — Vue du portique d'ancrage n° 0 et de ses haubans.

Les ancrages ont été obtenus de la façon suivante : lors de la confection de la partie supérieure des pieux, on a noyé dans la masse du béton des fers à U jumelés, maintenus à distance convenable l'un de l'autre par des entretoises et des boulons, et qui ont été placés horizontalement.

Ces fers ont été rendus solidaires de l'armature du pieu par recourbement de celle-ci et frettage énergique. Ils servent à retenir la tête des boulons d'ancrage disposés verticalement.

Chaque pied du poteau forme une patte dont la partie inférieure est constituée par une plaque horizontale, percée de trous, traversée par les boulons et retenue par leurs écrous. Les boulons sont au nombre de trois par pilier ; ils ont 45 mm de diamètre et 1,50 m de longueur (fig. 8).

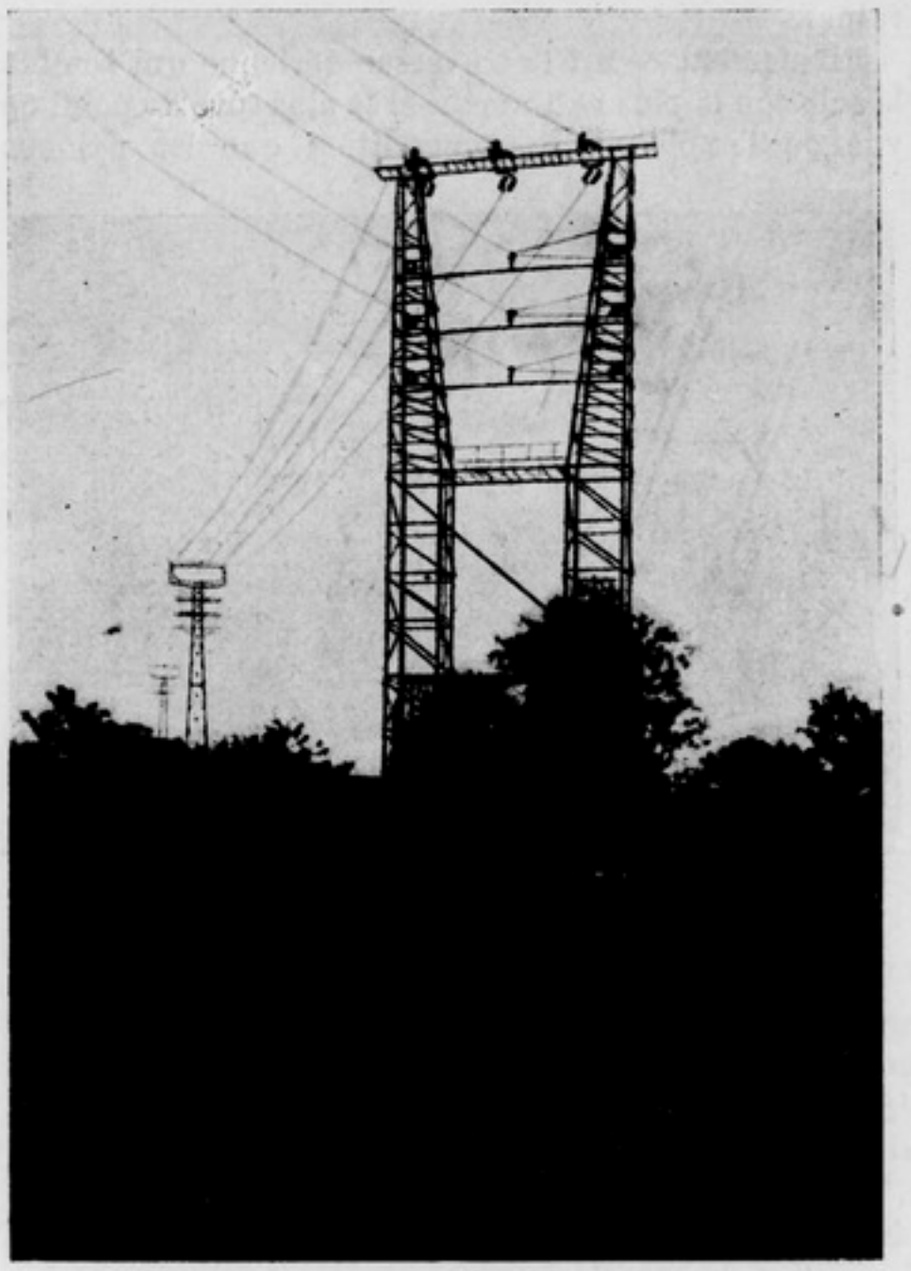


Fig. 7. — Vue du portique d'ancrage n° 3.

P. Combe,
Directeur de l'exploitation de l'Union électrique de l'Ouest.

DEUXIÈME PARTIE : **Calculs justificatifs**

IV. **Données du problème.** — Afin d'assurer le libre passage dans le canal de tous les bâtiments pouvant avoir à accéder au port de Caen, l'Administration des Ponts et Chaussées avait fixé, comme il a déjà été dit à 48 m la hauteur minimum des conducteurs au-dessus du plan d'eau (1).

Naturellement, étant donné l'importance et le prix auxquel, de ce fait, devaient atteindre les ouvrages, il convenait de s'assurer qu'il n'existait aucun autre moyen plus facile de relier la ligne à l'usine, et s'il en était bien ainsi, de les prévoir en vue de tous les autres

(1) Le tirant d'air dont disposent les navires sur le canal de Kiel est de 43 m. La traversée du Forth, en Angleterre (voir : *Revue générale de l'Electricité*, 19 octobre 1929, t. XXVI, p. 627-634) a été faite à 48 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux.

débouchés dont éventuellement l'usine pourrait avoir besoin dans la même direction. C'est ainsi que furent examinés successivement et rejetés : le contournement du port de Caen, et par suite du canal dont il est l'aboutissement ; l'emploi de câbles armés déroulés dans le fond du canal ou enterrés, ou placés en galerie souterraine.

Finalement ce fut la traversée aérienne qui sembla la solution la plus rationnelle et la plus sûre du point de vue de l'exploitation, à condition que les pylônes

Fig. 8. — Vue de la disposition des massifs d'ancrage sur têtes de pieux.

soient établis et armés avec toutes les précautions utiles, et également la plus rapide d'exécution et la plus économique compte tenu de la capacité de transmission qu'elle permettait d'atteindre.

La suite de cet article montrera d'ailleurs que, même dans des circonstances locales relativement difficiles, l'adoption de caractéristiques exceptionnelles pour des pylônes électriques n'entraîne pas de difficultés aussi importantes qu'il peut sembler à priori.

Les conditions d'établissement que nous rappelons étaient les suivantes :

Nécessité de prévoir les pylônes pour une ligne à 90 000 v et deux lignes à 60 000 v ; terrain peu résistant jusqu'à une profondeur d'une dizaine de mètres (fig. 2) ; emplacement disponible au voisinage de l'usine pour l'implantation du premier pylône, de 7 m × 7 m, recul maximum disponible pour réaliser la montée des conducteurs sur le pylône, de 120 m.

Evidemment la pression maximum du vent sur les conducteurs et les pylônes, dont la hauteur atteint 65,15 m, ne pouvait à priori être prise égale à 120 kg : m² comme le spécifie le règlement pour des ouvrages notablement moins hauts. A la suite de pourparlers avec les administrations intéressées, ce taux fut finalement, et avec leur agrément, porté dans les calculs à 200 kg : m² de surface plane, le coefficient de réduction restant, comme normalement, de 0,6 pour le calcul de la pression sur les conducteurs, rapportée à leur surface longitudinale, et les coefficients de sécurité, conformes aux termes du règlement, c'est-à-dire dans le cas présent, de 5 pour les pylônes et 3 pour les conducteurs (1).

V. **Caractéristiques générales.** — Le souci d'économie qui présida à l'étude des ouvrages, joint à celui de réduire le plus possible les efforts mis en jeu dans les fondations, conduisit à la conception de deux grands pylônes portant les conducteurs, sans ancrage, et dont l'ensemble devait être encadré par les deux portiques de faible hauteur servant au contraire à l'amarrage en deçà et au delà de la traversée et décrits, ainsi que les pylônes, dans la première partie de cet article.

On réduisit également la surface offerte par les câbles au vent dans cette partie de ligne, en limitant leur section aux plus faibles valeurs admissibles. Enfin, leur flèche et, par suite, la hauteur des deux pylônes de la traversée furent fortement diminuées par l'emploi d'un bronze dont la résistance à la rupture atteint 70 kg : mm² et la limite d'élasticité, 42 kg : mm².

Mais même après avoir réduit par la disposition adoptée pour les conducteurs et définie plus haut l'importance à donner aux fondations, on jugea plus prudent de ne pas charger le terrain de la masse de béton qu'elles eussent normalement comportée et on remplaça la pression qu'il eût eu à supporter par le frottement exercé sur lui par des pieux coulés sous pression au nombre de quatre par pylônes et placés chacun sous l'un des angles. Leur longueur, d'après le calcul, devait être de 8 m et il n'était même nullement nécessaire qu'ils descendissent jusqu'au sol vraiment solide. En réalité, ces pieux ont une longueur de 12,50 m.

Les trois portées sont de : 110 m entre le portique n° 0 et le pylône n° 1, 212 m entre les pylônes 1 et 2, et 208 m entre le pylône n° 2 et le portique n° 3.

La portée 0-1, de 110 m, a pour but de donner un recul suffisant pour la montée des câbles sur le premier pylône de 65 m et le portique 3 sert à renvoyer les lignes vers les postes à 60 000 et 90 000 v.

Nous avons pensé qu'il pouvait être utile d'indiquer la méthode que nous avons été conduits à établir pour le calcul des conducteurs.

Pour ce qui est des pylônes et des fondations nous n'avons fait qu'indiquer celles qui ont été suivies par les constructeurs.

L'étude générale des deux pylônes de la traversée a été faite par M. Bournevie, ingénieur-conseil des Etablissements Paris. D'une façon générale les études ont

(1) Nous ne prétendons pas que ce taux de 200 kg : m² ne soit assez arbitraire. On notera que, par exemple, l'Administration vient d'admettre celui de 120 kg : m² à 20 m du sol avec progression de 1 kg : m² par mètre courant, pour les pylônes d'antennes de télégraphie sans fil, de 100 m de hauteur, qui vont être élevés à Strasbourg. Cette formule ne nous eût imposé que 165 kg : m² pour le calcul de la tête du pylône. Elle peut paraître plus rationnelle du fait de l'échelle croissante qu'elle comporte ; mais nous avons préféré, au contraire, adopter une pression égale sur toute la hauteur, c'est-à-dire un coefficient de sécurité qui, en réalité, est croissant de la tête à la base.

été réalisées et l'exécution suivie par la Société Gaz et Eaux, co-fondatrice de l'Union électrique de l'Ouest, et qui avait été choisie par elle comme ingénieur-conseil en cette affaire. Toutefois, les recherches sur la nature du terrain ont été effectuées directement par l'Union électrique de l'Ouest.

Les travaux ont été exécutés de façon particulièrement rapide puisque les premières commandes datent du milieu d'août et que les pylônes étaient déjà levés vers le milieu de décembre 1928.

Le tirage s'est fait du portique 0 au portique 2 par un va et-vient commandé par treuils.

VI. **Calcul des conducteurs**. — 1. Principe de ce calcul. — La grande différence de hauteur existant entre le portique d'ancrage et le premier pylône rend inutilisables les formules habituelles du calcul de réglage des conducteurs, qui ont été établies pour le cas où la dénivellation entre points d'attache est nulle ou négligeable.

A l'époque où l'étude de la traversée du canal a été faite, il n'existait pas, à notre connaissance du moins, d'ouvrages ou d'articles techniques qui aient exposé la théorie complète du calcul des conducteurs en tenant compte de cette dénivellation, c'est-à-dire en exprimant, dans le plan où s'établit la chaînette sous l'effet du vent, la différence des ordonnées des points d'attache par sa nouvelle valeur, qui n'est plus la même que dans le plan vertical en l'absence du vent, les deux axes de coordonnées, pris respectivement parallèle et perpendiculaire à l'axe de symétrie de la courbe, n'étant plus dirigés suivant la verticale et l'horizontale. Sous cette réserve nous croyons ne pouvoir mieux faire que de prendre comme point de départ les équations de la chaînette et de son arc sous les formes particulièrement simples figurant dans l'étude de M. Lavanchy, qui a été publiée dans ces colonnes (1).

Nous nous limiterons d'ailleurs à l'indication des équations initiales et finales en supprimant la plus grande partie des développements mathématiques, qu'il serait facile au lecteur de rétablir.

Donnons aux constantes du câble les désignations suivantes :

t, tension par unité de surface ;
E, coefficient d'élasticité ;
λ, coefficient de dilatation ;
s, section ;
d, diamètre ;
ϖ, poids spécifique ;
π, poids spécifique apparent, résultant du poids spécifique et de l'effort latéral f dû au vent, f étant rapporté à l'unité de surface de la section du câble et à l'unité de longueur, on a

$$f = \frac{Vd}{s},$$

(1) Ch. Lavanchy ; Calcul mécanique des conducteurs des lignes électriques dans le cas où les supports sont à des niveaux différents. *Revue générale de l'Electricité*, 10 janvier 1925, t. XVII, p. 55-63.

et

$$\pi = \sqrt{\varpi^2 + \left(\frac{Vd}{s}\right)^2}.$$

Avec des axes convenablement choisis, l'équation de la chaînette est

$$y = a \cosh \frac{x}{a},$$

où

$$a = \frac{t}{\varpi},$$

lorsque le fil est soumis uniquement à son poids.

La longueur d'un arc AB dont les extrémités diffèrent respectivement de d et h en abscisses et ordonnées (fig. 9) peut alors s'écrire

$$\sigma = \sqrt{h^2 + 4\frac{t^2}{\varpi^2}\sinh^2\left(\frac{d}{\frac{2t}{\varpi}}\right)},$$

ceci par des calculs conduits sans approximation. En

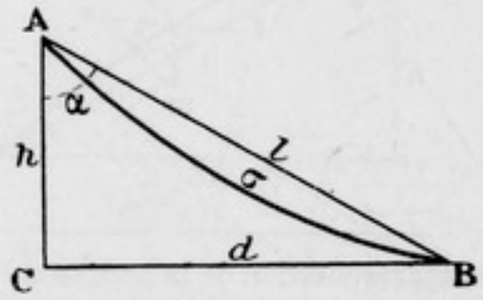


Fig. 9. — Représentation d'une portion de chaînette de longueur σ à points d'appui à des niveaux différents.

s'en tenant au contraire aux premiers termes du développement en série

$$\sigma = l\left(1 + \frac{l^2 \sin^4\alpha}{24}\frac{\varpi^2}{t^2}\right), \qquad (1)$$

où l est la corde AB et α, l'angle de AB avec la verticale.

Si maintenant, A et B restant fixes, le fil est soumis à un vent exerçant une pression V, la nouvelle chaînette s'établit dans le plan contenant A et B et la résultante est π, définie comme ci-dessus (fig. 10).

Pour garder à la chaînette la même forme d'équation que précédemment, prenons l'axe des y parallèle et l'axe des x perpendiculaire à π. Soient H et D les nouvelles différences de coordonnées, β et γ les angles de l'effort π avec la verticale et avec AB, T la tension unitaire, on a

$$\cos\gamma = \cos\alpha\cos\beta, \quad H = l\cos\gamma, \quad D = l\sin\gamma. \qquad (2)$$

La longueur d'arc AB devient alors

$$\Sigma = l\left(1 + \frac{l^2 \sin^4\gamma}{24}\,\frac{\pi^2}{T^2}\right). \qquad (3)$$

L'explication physique de la variation de longueur de σ à Σ est, d'autre part, traduite par l'équation

$$\frac{\Sigma}{\sigma} = \left(1 + \frac{T - t}{E}\right)(1 + \lambda\theta).$$

Traitant les quantités

$$\frac{T-t}{E},\ \lambda\theta,\ \left(\frac{\varpi^2}{l^2}\right)\ \text{et}\ \left(\frac{\pi^2}{T^2}\right)$$

comme des infiniment petits négligeables à partir du second ordre, il vient successivement

$$\Sigma = \sigma\left(1 + \frac{T-t}{E} + \lambda\theta\right) \qquad (4)$$

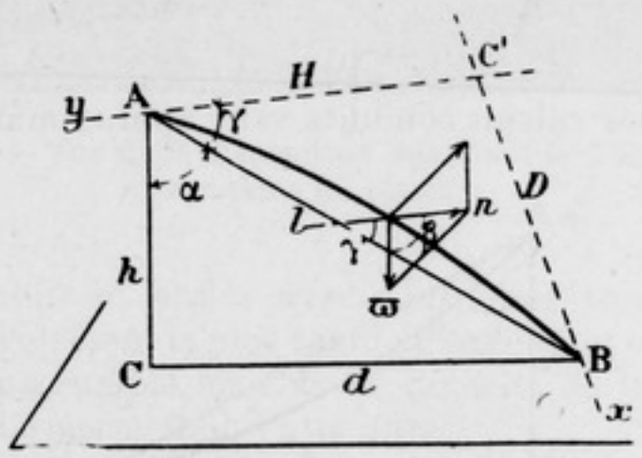


Fig. 10. — Représentation de la portion de chainette de la figure 9, mais dont le plan est déplacé.

et l'équation du changement d'état que l'on peut écrire

$$T - t + \frac{Ed^2}{24}\left(\frac{\varpi^2}{l^2}\sin^2\alpha - \frac{\pi^2}{T^2}\sin^2\gamma\right) + E\lambda\theta = 0. \qquad (5)$$

Dans le cas de la dénivellation nulle, $\alpha = \gamma = \frac{\pi}{2}$, et on retrouve naturellement l'équation sous sa forme ordinaire.

Dans le cas général, on voit qu'on peut assimiler la ligne à une ligne sans dénivellation entre points d'attache, la portée restant d, mais les poids spécifiques réel et apparent devenant $\varpi \sin\alpha$ et $\pi \sin\gamma$; et π et γ variant naturellement suivant la force du vent.

Il est particulièrement important de noter pour la simplification des calculs que la notion de portée critique subsiste. On a

$$d_c = T_{\max}\sqrt{\frac{24\,\lambda\theta}{\pi_1^2\sin^2\gamma_1 - \pi_2^2\sin^2\gamma_2}}. \qquad (6)$$

2. Réglage. — Les états atmosphériques auxquels doivent pouvoir résister les câbles sont :

1° Température moyenne de la région et vent de $200 \times 0{,}6 = 120$ kg : m² comme il a déjà été dit;

2° En vue d'une même majoration par rapport aux exigences des règlements :

Température minimum de la région et vent de $50 \times 0{,}6 = 30$ kg : m².

La tension maximum qu'on s'est imposée est de 20 kg : m² et la tension de pose a été prise la même pour tous les câbles, c'est-à-dire, d'après les valeurs des portées critiques, celle déterminée pour les câbles les plus fins (54 mm²) par l'hypothèse 1° dite « d'été ».

Cette tension, prise au point bas de la chaînette, en l'absence de vent et à la température moyenne a été trouvée, pour la portée 1-2 de la traversée, de 9,5 kg : mm² et la flèche correspondante, de 5,40 m.

Pour les portées contiguës 0-1, 2-3, on a fixé à la même valeur, dans les mêmes circonstances, la composante horizontale de la tension et dans ces conditions l'équation (4) a permis de déterminer les tensions maxima au point inférieur fictif de la chaînette. La tension au point d'attache s'en est déduite facilement.

On a, en effet, pour expression de la tension en un point quelconque (fig. 11)

$$\tau = \pi y.$$

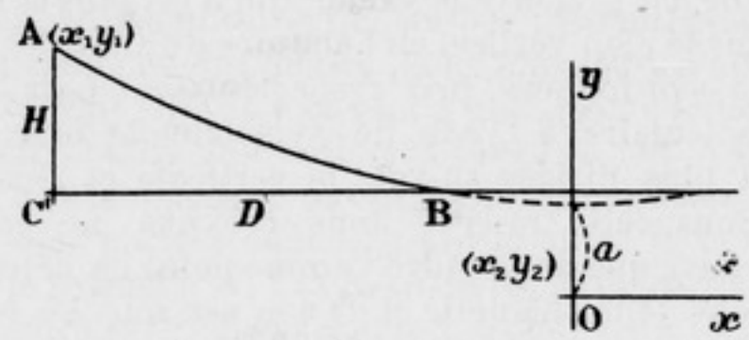


Fig. 11. — Représentation de la portion de chainette à points d'appui à des niveaux différents, et du même côté de l'axe de la courbe.

D'autre part, l'équation de la parabole substituée à celle de la chaînette

$$x^2 = 2a\,(y - a),$$

avec

$$a = \frac{T}{\pi},$$

T étant la tension au point inférieur de la chaînette, permet d'écrire

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= -\left(\frac{H}{D}\,\frac{T}{\pi} + \frac{D}{2}\right) \\ y_1 &= \frac{1}{2}\,\frac{T}{\pi}\,\frac{H^2}{D^2} + \frac{D^2\pi}{8T} + \frac{H}{2} + \frac{T}{\pi}, \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

et d'après les expressions (2) de H et D, la tension τ_1 au

point d'attache supérieur est donnée finalement par

$$\tau_1 = \frac{1}{2} T \operatorname{cotg}^2\gamma + \frac{\pi^2 l^2 \sin^2\gamma}{8T} + \frac{\pi l \cos\gamma}{2} + T. \quad (8)$$

L'utilisation de cette équation a montré que la tension aux points d'attache ne dépassait pas dans les portées contiguës à la traversée 17,8 kg : mm².

En résumé le coefficient de sécurité atteint par les conducteurs est $\frac{70}{20} = 3{,}5$.

On notera que l'égalité de tension horizontale de part et d'autre de chacun des deux grands pylônes était particulièrement facile à obtenir à la pose, puisqu'elle réalise la verticalité des chaînes d'isolateurs.

Dans ce qui précède, les points d'attache sont considérés comme fixes, alors que les chaînes cependant s'inclinent sous la différence de tension entre portées créée par une variation d'état atmosphérique, mais cette inclinaison, en soulageant la portée la plus tendue, ne peut qu'améliorer la tenue de la ligne.

En vue de l'observation d'une distance minimum de sécurité entre conducteurs et terre, il convient, en toute rigueur, de se préoccuper de la position du point le plus bas sur les portées comportant une dénivellation. Or l'expression x_1, donnée par l'équation (7) représente la distance, comptée horizontalement, du point inférieur de la courbe au point d'attache le plus élevé. Notamment pour la portée 0-1 à 40°C sans vent, on trouve que cette distance est de 395 m, c'est-à-dire que ce point est en dehors de la portée réelle, et que nulle part, les câbles ne descendent au-dessous du point d'attache inférieur.

On voit que, dans ces mêmes conditions, cette partie de ligne se comporte comme si elle faisait partie d'une portée de 790 m.

VII. **Effort dans les chaînes d'isolateurs**. — La traction qui est exercée sur les chaînes suspendues des deux grands pylônes est, pour chacun d'eux, la résultante des tensions dans les deux portions de câbles situées de part et d'autre du pylône.

Celles-ci, connues en grandeur, le sont aussi en direction, chacune dans le plan d'une des deux chaînettes ; mais, ces plans ne coïncidant pas, il convient de rapporter toutes les projections telles que (fig. 12)

$$(\tau_A)_{C'A} = \tau_A \sin\delta,$$

$$(\tau_A)_{C'B} = \tau_A \cos\delta,$$

avec

$$\operatorname{tg}\delta = \left(\frac{dy}{dx}\right)_A$$

à des axes communs, soient CA, CB, CF.

Laissant de côté la résolution de ce problème de géométrie dans l'espace, nous donnerons seulement les formules générales des composantes de la tension sur chaque portion de conducteur telle que AB auxquelles elle conduit.

On a pour composante verticale :

$$T_{CA} = T \sin\delta \cos\beta - T \cos\delta \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\gamma}} \sin\beta;$$

pour composante horizontale parallèle à la ligne

$$T_{CB} = T \cos\delta \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma};$$

Pour composante horizontale perpendiculaire à la ligne

$$T_{CF} = -T \sin\delta \sin\beta - T \cos\delta \sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\gamma}} \cos\beta,$$

avec

$$\operatorname{tg}\delta = -\left(\operatorname{cotg}\gamma + \frac{l\pi \sin\gamma}{2T}\right).$$

Finalement, en faisant la somme des deux composantes suivant chaque direction de part et d'autre de la

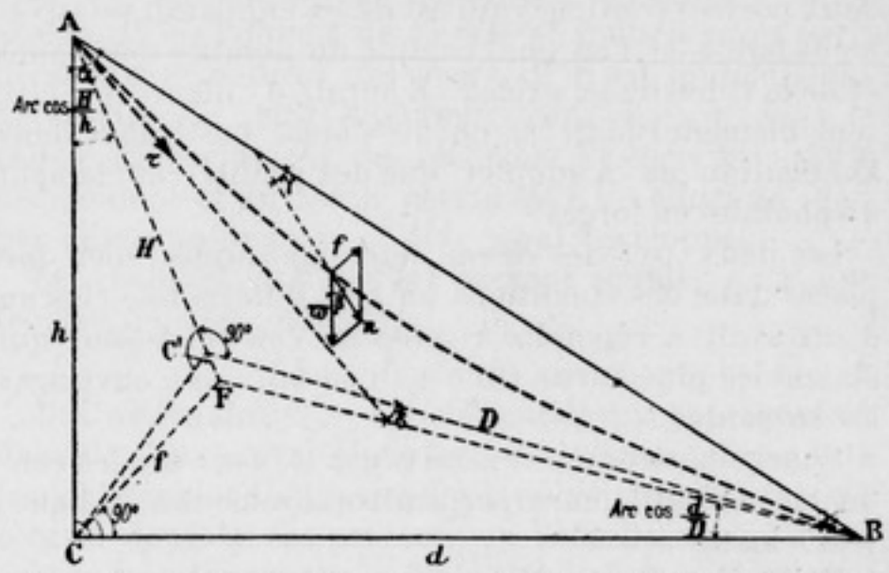


Fig. 12. — Représentation graphique des efforts agissant sur le conducteur et de leurs composantes suivant les axes fixes par rapport au sol, CA, CB, CF et suivant les axes C'A, C'B, dans le plan de la chainette.

chaîne d'isolateurs, on a sur la portée 0-1, par un vent de 200 kg : m², dans les chaînes du câble de 54 mm² qui est le plus chargé par unité de section :

Résultante verticale : 852 kg pour une section du câble de 1 cm² ;

Résultante horizontale dans le sens de la ligne, 390 kg, pour une section du câble de 1 cm² (valeur prise par excès d'après ce qui a été noté ci-dessus) ;

Résultante horizontale dans le sens transversal : 310 kg, rapportée à la même section ;

Résultante générale, 990 kg, rapportée à la même section.

Ce taux étant, par excès, rapporté au câble de 72 mm² qui est cependant le moins chargé à cause de sa plus grande section, la traction exercée sur chaque chaîne

d'isolateurs est au maximum de 714 kg sur le pylône 1, et inférieure à ce nombre sur le pylône 2, et, dans ces conditions, le coefficient de sécurité dans les chaînes, qui sont doublées, est d'au moins $\frac{9000}{714} = 12{,}6$, et, pour les pinces, palonniers et autres pièces de leur équipement, plus de 11.

L'effort aux ancrages sur les portiques 0 et 3 est au maximum de $72 \times 20 = 1440$ kg par câble, et le coefficient de sécurité est donc encore de 6,25 dans les chaînes et de plus de 5,5 dans le reste de l'armement.

VIII. **Spécification et calcul des pylônes.** — Les poids des ouvrages sont :

Pylônes, y compris potences d'armement, passerelles, échelles, boulons de fondation, pour chacun : 23,5 t ;

Portique 0 (hauteur, 14 m ; effort exercé, 19000 kg ; coefficient de sécurité, 3) : 9 t ;

Portique 3 (hauteur, 25 m ; effort exercé, 13500 kg ; coefficient de sécurité, 5) : 16 t.

Ces portiques réalisent l'arrêt des lignes, et, en ce qui concerne le premier, l'arrêt des conducteurs les raccordant au poste.

Le poids total des ouvrages de la traversée et des deux portées contiguës qui est de 72 t apparaît relativement faible, si l'on tient compte du nombre des lignes et de la robustesse exigée. Il aurait d'ailleurs pu être sensiblement réduit si on ne s'était pas trouvé dans l'obligation de n'adopter que des profils rapidement disponibles en forges.

Les deux pylônes devant être identiques, bien que placés dans des conditions un peu différentes, chacun d'eux avait à répondre à celles de ces conditions qui étaient les plus dures. On n'a eu en fait qu'à envisager les suivantes :

Charge horizontale exercée par le vent sur les conducteurs et isolateurs perpendiculairement à la ligne, 1725 kg ;

Point d'application à 59,80 m au-dessus du sol ;

Charge verticale, 3800 kg.

La pression du vent sur les différents tronçons du pylône a été calculée comme s'exerçant également sur la face située *au vent* et sur la face située *sous le vent*. L'effort de pression atteint par pylône 8700 kg.

L'étude d'ensemble a été faite à l'aide des équations suivantes qui se rapportent aux notations de la figure 13. F représente toutes les forces s'exerçant au-dessus de la coupe XX′ ou YY′ et M_0 et M_s, les moments de F par rapport à O et à S.

$$T = C = \frac{1}{2}\frac{M_0}{OB} = \frac{M_0}{l} \text{ sensiblement,}$$

$$D = \frac{1}{2}\frac{M_s}{d},$$

$$K = \frac{1}{2}\frac{M_s}{h}.$$

Il est à noter que, si pour des pylônes de hauteur normale, il peut suffire de calculer les croisillons pour l'effort tranchant dû aux forces appliquées au pylône, ces formules, plus rigoureuses, ont procuré une économie non négligeable par rapport à ce qu'eût donné

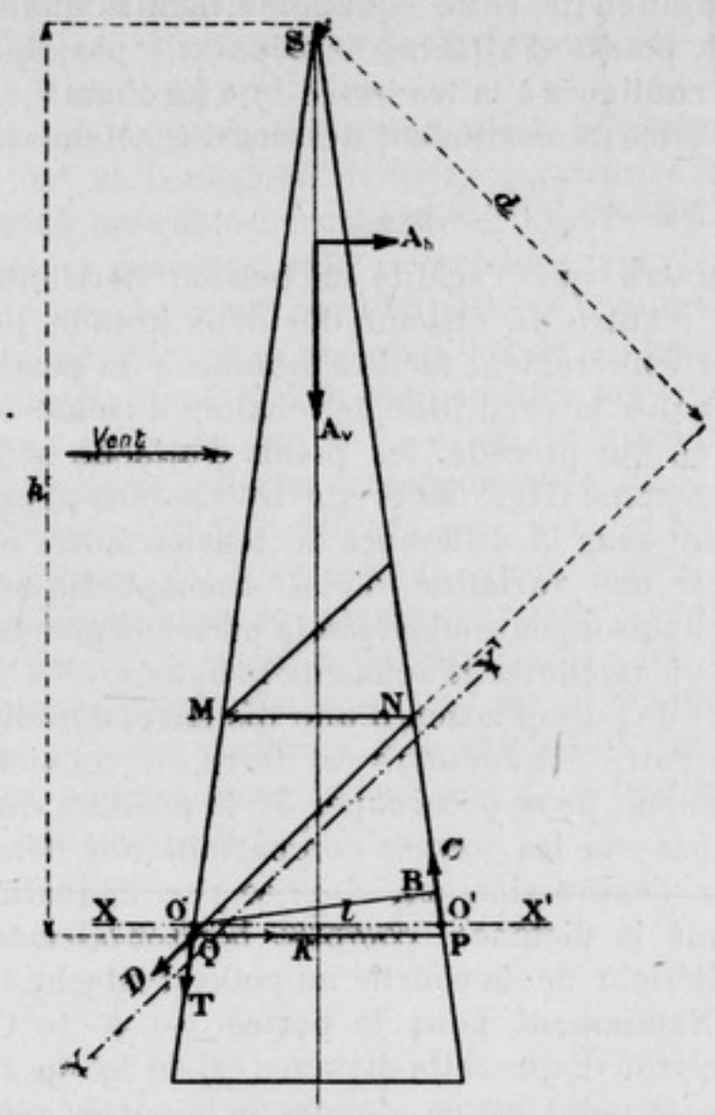


Fig. 13. — Représentation graphique des efforts agissant sur les pylônes.

la méthode courante. On remarquera également que les études d'avant-projet peuvent être grandement facilitées par la méthode graphique traduite sur la figure 14, qui permet de déterminer de façon particulièrement commode les moments de F par rapport à S et O. Soient par exemple les trois blocages I, II, III et V_1, V_2, V_3, et V les forces exercées par le vent sur les tronçons I, II, III et leur résultante, on a

$$\text{Moment de } V \text{ par rapport à O} = (V_1 + V_2 + V_3)\, G_3H_3,$$

$$\text{Moment de } V \text{ par rapport à S} = (V_1 + V_2 + V_3)\, G_3h_3.$$

Or

$$\frac{G_3H_3}{q} = \frac{A_3B_3}{V_1 + V_2 + V_3},$$

et

$$\frac{G_3h_3}{q} = \frac{a_3b}{V_1 + V_2 + V_3},$$

d'où

$$\text{Moment de } V \text{ par rapport à O} = A_3B_3 \times q,$$

$$\text{Moment de } V \text{ par rapport à S} = a_3b \times q.$$

Seules ont été prises en considération les diagonales travaillant en tension.

Les contraintes calculées dans les différents tronçons sont comprises, pour les montants, entre 7 et 8 kg : mm² et pour les croisillons entre 5 et 6 kg : mm².

IX. **Fondations.** — 1. Calcul des pieux. — 1° *Travail à la compression. Dimensions générales.* — Sous l'effet du moment de renversement, du poids des pylônes et de la composante verticale exercée par les

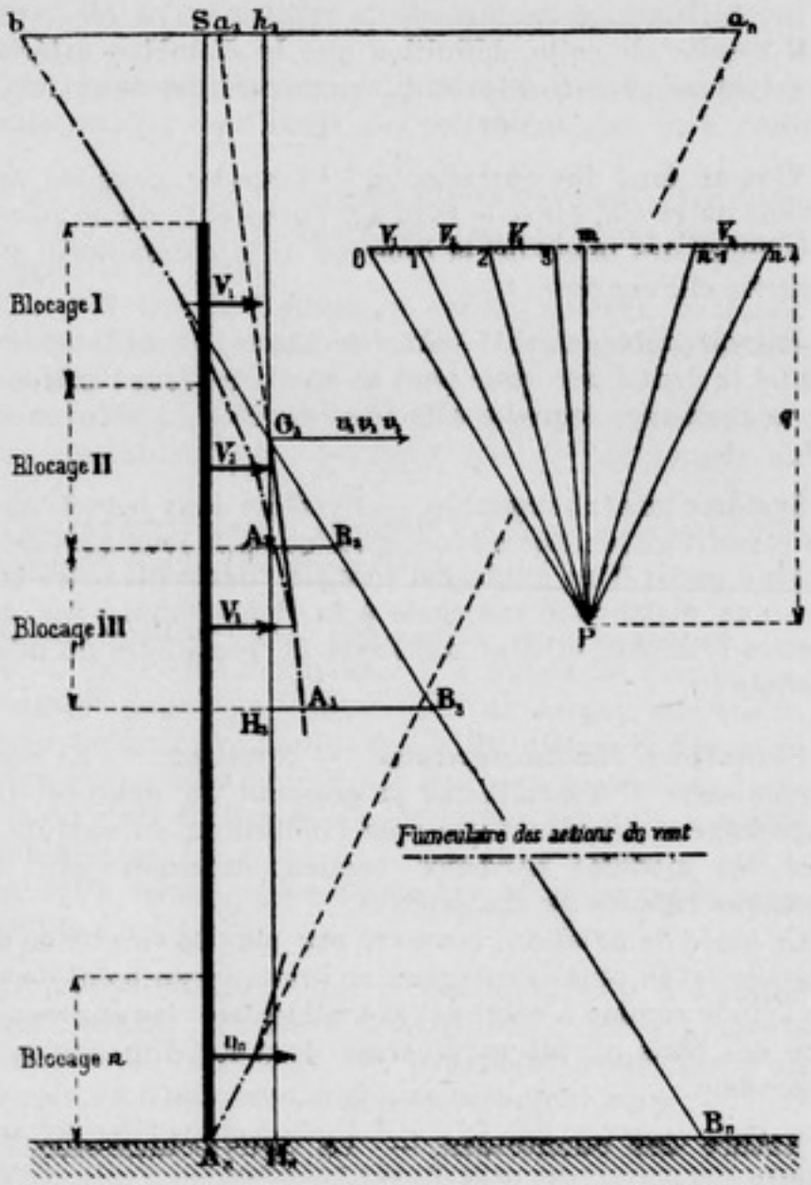


Fig. 14. — Polygone funiculaire des efforts du vent sur les pylônes.

câbles, les pieux, dont la spécification et le rôle ont été donnés plus haut, ont à supporter chacun un effort de pression de 32 000 kg du côté « sous le vent » et une traction de 19 000 kg du côté « au vent ».

En désignant par P la charge du pieu ; par S la section de base; par d le diamètre moyen, qu'il est très modéré de prendre pour ce terrain de 20 pour 100 supérieur à sa valeur initiale ; par p la pression développée par le compresseur, comptée de 3 kg : cm² au lieu de 5 atteints en réalité ; par l la longueur du pieu et k un coefficient de frottement, pris dans le cas présent égal à 0,1, on a la relation $P = S\,p + \pi\,d\,l\,k\,p$ qui a permis de déterminer les dimensions générales. On a pris $S = 1\,200$ cm², d'où $l = 8$ m environ.

L'effort local sur le béton n'est que de 26,6 kg : m², laissant pour un dosage à 300 kg de ciment par mètre cube de béton un coefficient de sécurité supérieur à 6. En fait ce taux, comme l'effort vertical P, se trouve diminué par l'assise du cadre de base sur le terrain, dont il n'a pas été tenu compte et qui est cependant loin d'être négligeable.

2° *Travail à la traction.* — L'adhérence donnée par les dimensions indiquées ci-dessus permet un effort de traction de 28,8 t au lieu des 19 t qui sont nécessaires.

En ce qui concerne l'effort local, les fers travaillent à 10 kg : mm², donc avec un coefficient de sécurité de 4.

2. Ancrage des pylônes. — A la base, le montant et les deux croisillons aboutissant à chaque angle sont réunis par un gousset horizontal formant une sorte de patte fixée aux fondations par 4 boulons d'un diamètre de 45 mm et d'une longueur de 1,54 m.

Comme il est dit plus haut, des cornières jumelées noyées dans la masse du béton sont maintenues à distance convenable par boulons et entretoises ; elles enserrent les boulons de 45 mm et sont, d'autre part, liées aux armatures des pieux. Il n'est toutefois pas nécessaire de faire intervenir cette liaison dans le calcul du coefficient de sécurité, l'adhérence seule des boulons et du béton permettant un effort de 150 t par pilier, au lieu des 19 qui y sont développés.

Les boulons eux-mêmes ne sont soumis qu'à une tension de 3 kg : mm².

X. **Conclusions.** — Les difficultés qui se présentent dans l'établissement d'une ligne électrique, telles que le franchissement d'un cours d'eau à une grande hauteur, comme dans le cas présent, ou l'établissement d'une portée très longue ou à forte dénivellation sont trop diverses pour que de simples rapprochements avec des cas similaires puissent permettre une prévision du prix de revient de la solution envisagée, et la société de transmission ou de distribution d'énergie électrique intéressée se verra obligée à une étude complète du problème avant de pouvoir évaluer ce prix même approximativement. C'est pourquoi il nous a semblé qu'il pouvait être utile d'indiquer non seulement les constantes des ouvrages décrits, mais également les méthodes et formules qui ont servi à leur détermination.

H. Lajus,
Ancien Ingénieur à la Société Gaz et Eaux,
Chef de service à la Société de Montage
et d'Installations électriques.

Normalisation des engrenages

Nous reproduisons ci-dessous le rapport concernant la normalisation des engrenages présenté par M. J. Androuin, le 4 octobre 1924, à la Commission permanente de Standardisation, ainsi que les règles et recommandations adoptées par cette commission et que vient de reprendre la Commission de Normalisation de la Mécanique dans les deux projets de normalisation que nous signalons à la page 162 de ce numéro.

I. Rapport de M. J. Androuin

Pour que des engrenages, et surtout les outillages qui servent à les fabriquer, puissent être catalogués et tenus en stock, il faut que ces objets appartiennent à un système défini qui soit interchangeable, c'est-à-dire où toutes les roues de même grosseur de denture, quel que soit leur nombre de dents à partir d'un minimum spécifié, engrènent entre elles.

Pour étudier cette question, la Sous-Commission E a d'abord précisé le vocabulaire employé et admis un certain nombre de principes fondamentaux.

Puis elle a déterminé les divers éléments du système.

Vocabulaire. — **Cercles primitifs (de deux engrenages à axes parallèles)**. — Cercles qui, dans le mouvement relatif de ces engrenages, roulent l'un sur l'autre sans glissement.

Cercle primitif (d'une roue engrenant avec une crémaillère). — Cercle dont la circonférence est égale au déplacement de la crémaillère correspondant à un tour de roue (fig. 1). La *ligne primitive* de la crémaillère est tangente au cercle primitif de la roue.

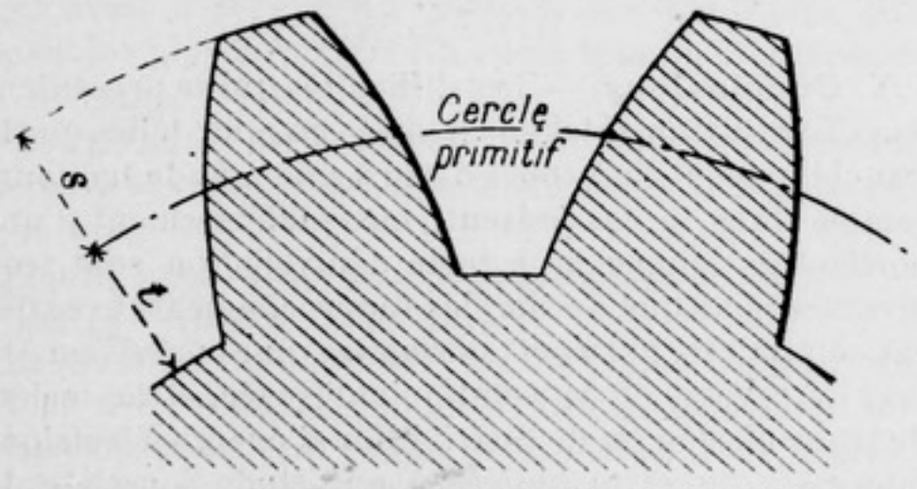


Fig. 1. — s = 1 module en millimètres; l = 1,15 module en millimètres; angle de pression, 20°.

Module (d'une roue). — Quotient du diamètre primitif par le nombre de dents.

Module (d'une crémaillère). — Quotient du pas par π.

Odontoïde. — Section de la partie active d'une dent d'engrenage par un plan normal à l'axe.

Angle de pression. — Angle aigu formé par la normale commune aux odontoïdes et la tangente commune aux cercles primitifs.

Saillie. — Hauteur d'une dent d'engrenage, comptée dans le sens du rayon de la roue, à partir du cercle primitif et en dehors de celui-ci.

Il résulte de cette définition que le diamètre extérieur est égal au diamètre primitif augmenté de deux fois la saillie.

Vide au fond des entredents. — Distance, comptée dans le sens du rayon, entre le fond des entredents d'une roue et le sommet des dents de la roue (ou de la crémaillère) avec laquelle elle engrène.

Jeu circonférentiel. — Arc de cercle primitif suivant lequel la dent d'une roue peut se mouvoir dans l'entredent de la roue avec laquelle elle engrène, celle-ci étant immobile.

Système interchangeable. — Système dans lequel toutes les roues d'un module donné, quel que soit leur nombre de dents à partir d'un minimum spécifié, engrènent entre elles sur une distance d'axe égale à la demi-somme des diamètres primitifs, et engrènent avec la crémaillère du même module (1).

Principes fondamentaux. — **Notation**. — La Sous-Commission E a admis que la grosseur de denture d'un engrenage serait caractérisée par l'indication du module, et que les modules normaux seraient exprimés par des nombres simples de millimètres.

Ce mode de notation, consacré par plus de vingt-cinq ans d'usage est le plus avantageux en pratique, au point de vue de l'étude comme à celui de l'exécution, tant des engrenages que des bâtis et pièces diverses dont les dimensions en dépendent.

Nature des odontoïdes. — La Sous-Commission E a admis :

a) Que le système à choisir ne devait être lié à aucun mode d'exécution particulier, mais devait, au contraire, se prêter à l'application de tous les procédés connus de taillage, soit par outil profilé suivant les courbures à obtenir (Ex. : fraise ou outil de rabotage à profil constant), ou par outil simple guidé au moyen d'un gabarit de la courbure à

(1) Dans un système interchangeable, le tracé de la crémaillère présente les propriétés géométriques suivantes :

1° Sur la ligne primitive, l'épaisseur de la dent est égale à la largeur de l'entredent ;

2° La dent est symétrique par rapport à une perpendiculaire à la ligne primitive menée par le milieu de son épaisseur ;

3° L'odontoïde est symétrique par rapport au point où elle rencontre la ligne primitive :

4° Si une roue d'un module donné engrène avec la crémaillère de ce module, elle engrène avec toute autre roue du même module ;

(*Remarque* : La réciproque de cette proposition n'est pas toujours vraie.)

5° La crémaillère d'un système détermine ce système ;

6° D'après ce qui précède, c'est la crémaillère qui doit servir de base à la construction de l'étalon du système qu'elle détermine.

obtenir. (Ex. : machine à tailler à gabarit), soit par génération cinématique des courbes au moyen de machines où les arêtes des outils engendrent des surfaces (vis sans fin, roues ou crémaillères) engrenant avec la pièce en œuvre. (Ex. : machine à tailler à fraise hélicoïdale, machine à tailler Fellows, machines à tailler à peigne-crémaillère, machines à rectifier à la meule de face, etc.) ;

b) Que le système devait se prêter à une définition géométrique rigoureuse et simple, afin que les outillages d'exécution, les étalons et les instruments de vérification puissent être obtenus dans les meilleures conditions de précision et de bon marché ;

c) Qu'en raison de ce qui précède, le système serait défini au moyen de sa crémaillère et que celle-ci en constituerait l'étalon ;

d) Que les propositions se rapportant à des crémaillères non entièrement rectilignes, ne pouvaient pas être retenues, et

Que les odontoïdes de la crémaillère devaient être rectilignes, les odontoïdes correspondantes des roues étant des développantes de cercle :

e) Que les tracés de roues de même nombre de dents, mais de modules différents, devaient être géométriquement semblables ;

Qu'à cet effet, les divers éléments tels que : saillie, vide au fond des entredents, devaient être proportionnels au module, et

Que les rapports de ces éléments au module devaient être des nombres simples faciles à retenir.

Détermination des éléments du système. — Saillie. — La Sous-Commission E a considéré que le système devait pouvoir s'accommoder de larges tolérances, tant pour faciliter l'exécution des bâtis (distances d'axes) et celle des engrenages eux-mêmes que pour permettre l'emploi, là où c'est suffisant, d'engrenages bruts de moulage ou de matriçage.

Pour cette raison, elle a admis que la saillie serait égale à 1 module.

Angle de pression. — La Sous-Commission E a étudié comparativement plusieurs propositions ; les arguments examinés, d'où ressortent les avantages respectifs d'un petit angle ou d'un grand angle, se résument ainsi :

Pour un petit angle ;

1° La poussée sur les axes est un peu plus faible pour un petit angle que pour un grand (toutes autres conditions égales, la poussée est inversement proportionnelle au cosinus de l'angle de pression) ;

2° Le jeu circonférentiel qui résulte d'un excès de distance d'axes d'autant plus faible que l'angle est petit ;

3° Lorsque, pour des cas spéciaux, il faut employer des pignons hors série à saillie augmentée, la limite possible de l'augmentation de le saillie est d'autant plus élevée que l'angle de pression est plus petit.

Pour un grand angle :

4° Pour une saillie donnée, le nombre de dents minimum possible, dans un système interchangeable défini comme ci-avant, est d'autant plus faible que l'angle est plus grand. Si l'on désigne par α l'angle, h le rapport de la saillie au module et n_0 le nombre de dents minimum,

pour $h = 1$, on a

Valeurs de α.....	15°	1°30′	20°	22°30′	25°
Valeurs de n_0....	30	22	17	13	11

5° Toutes autres choses égales, les dents d'un engrenage sont d'autant plus épaisses à la base que l'angle est plus grand ;

6° Les outils de taillage sont d'autant plus solides que l'angle de pression est plus grand. Cela est vrai pour tous les procédés connus de taillage et de parachèvement ;

7° Les outils profilés (fraises ordinaires ou hélicoïdales, outils Fellows, peignes-crémaillères, etc.), coupent d'autant mieux que l'angle de pression est plus grand, parce que, pour une dépouille frontale donnée, ils ont une dépouille latérale plus grande et, par conséquent, plus approchée de celle qui conviendrait le mieux.

La question de l'énergie absorbée par le frottement a été évoquée au cours des discussions, mais elle n'a pas été retenue comme pouvant influencer le choix de l'angle, car il est maintenant établi que le rendement mécanique d'une transmission par engrenages à développantes est pratiquement indépendant de l'angle de pression.

La Sous-Commission E a examiné diverses propositions relatives à l'adoption d'un angle α de 15°, 20°, 22°30′ et 24°.

Elle a finalement adopté 20°.

Pour cet angle et dans le cas de la saillie égale au module comme il est dit plus haut, la valeur théorique de n_0 est de 17 ; toutefois, deux roues de 16 dents peuvent engrener entre elles, et une roue de 15 dents ou même de 14 avec une autre roue plus grande, parce que, dans ces cas particuliers, l'arc d'odontoïde, bien que réduit par suite de l'interférence, peut être encore suffisant pour assurer la conduite.

Vide au fond des entredents. — L'interchangeabilité des engrenages d'un système étant indépendante du jeu au fond des entredents, la valeur de ce jeu n'a besoin d'être fixée que pour faciliter, dans le travail de taillage, le réglage de la pénétration des outils.

Il y a donc lieu de fixer un jeu convenable pour les engrenages de précision, ce jeu devant être considéré comme un minimum et pouvant être augmenté dans le cas des engrenages bruts de moulage ou d'estampage.

Au cours de l'étude de cet élément, l'attention de la Sous-Commission E a été attirée sur le cas particulier du taillage à l'outil Fellows.

Pour qu'une roue taillée par un tel outil engrène avec la crémaillère, il faut que l'outil présente un excès de saillie, et cet excès de saillie se manifeste par un vide correspondant au fond des entredents de la roue.

C'est ainsi que pour une saillie égale à un module et un angle de pression de 20°, un outil Fellows de 20 dents doit produire un vide minimum de 0,32 module au fond des entredents de la roue si celle-ci doit engrener avec la crémaillère.

La Sous-Commission E estime qu'il n'y a pas lieu de choisir la valeur normale du vide au fond des entredents en vue de ce cas particulier, mais qu'il convient de tenir compte de ce cas dans les recommandations relatives à l'application des règles que la Commission permanente de Standardisation approuvera.

Elle propose que le vide normal au fond des entredents soit égal à 0,15 module.

Raccordement de l'otondoïde et de l'arc de fond d'entredent. — Dans un certain nombre de procédés de taillage, le raccordement est produit automatiquement par le mouvement relatif de l'outil et de la roue.

Pour les cas où l'on peut en choisir arbitrairement la forme, la Sous-Commission E recommande l'emploi d'un tracé arrondi.

Limites des dimensions réelles des engrenages. — Le tracé géométrique des engrenages étant défini par ce qui précède, la Sous-Commission E estime qu'il convient de considérer ce tracé comme un profil limite et d'interpréter la notion du profil limite d'une manière conforme aux règles déjà formulées à propos des emmanchements cylindriques lisses et filetés.

A cet effet, elle a admis :

1° Que la distance d'axes des alésages d'un bâti serait considérée comme un élément *contenant* et que, par conséquent, cette distance aurait comme limite maximum la cote exacte ;

2° Que les engrenages seraient considérés comme des éléments *contenus* et que, par conséquent, leurs dimensions réelles devraient toujours être maintenues à l'intérieur du profil limite.

Cela dit, la Sous-Commission E estime qu'il n'y a pas lieu de fixer les tolérances, ces tolérances pouvant varier suivant la destination des engrenages et les procédés d'exécution.

Série des modules normaux. — La Sous-Commission E a examiné, à ce point de vue, diverses propositions, y compris celle d'appliquer la série de Renard.

Elle a reconnu que l'application de cette série répondrait mal aux exigences de la pratique, notamment lorsque sur des arbres parallèles sont montés plusieurs couples d'engrenages de modules différents, ou encore lorsque des couples de même module ou de modules différents engrènent sur des distances qui s'ajoutent ou se retranchent (mécanismes de changements de vitesses, trains planétaires). On sait que, dans tous les cas, le double de chaque distance d'axes doit être un commun multiple de tous les modules qui s'y trouvent compris.

Dans ces conditions, elle a estimé devoir conserver la série employée couramment dans l'industrie et dont l'énumération figure à l'énoncé des règles à suivre.

Application de la crémaillère normale comme étalon d'éléments hors série. — La crémaillère normale peut servir d'étalon à divers éléments hors série, tels que :

Couples où les saillies respectives du pignon et de la roue sont inégales ;

Roues hélicoïdales et crémaillères obliques ;

Vis sans fin.

Bien que cette application de la crémaillère normale soit en dehors de la question de l'unification des engrenages droits interchangeables, la Sous-Commission E estime qu'il y a lieu de recommander cette application, en raison des facilités qu'elle peut offrir pour l'exécution et la vérification des éléments précités.

Corrélation des engrenages de mécanique générale et des engrenages dits « à dents courtes ». — Tandis que la Sous-Commission E étudiait la question des engrenages droits de mécanique générale, la Sous-Commission L étudiait celle des engrenages dits « à dents courtes » employés dans les automobiles et dans certains mécanismes de précision.

Ces deux Sous-Commissions ayant coordonné leurs travaux, les deux systèmes d'engrenages se correspondent de la manière suivante :

Les saillies sont respectivement ;

1 module (mécanique générale) et

0,75 module (dents courtes).

A part cela, les deux systèmes sont identiques.

II. Règles et recommandations de la Commission

Règles. — La Commission permanente de Standardisation, approuvant le rapport ci-avant, formule ainsi qu'il suit les règles relatives à l'unification des engrenages droits interchangeables de mécanique générale :

1° L'étalon du système est une crémaillère à odontoïdes rectilignes ; en conséquence, les odontoïdes des roues sont des développantes de cercles ;

2° La saillie des dents est égale à 1 module ;

3° L'angle de pression est de 20° ;

4° Le vide normal au fond des entredents est égal à 0,15 module ;

5° Le raccordement de l'odontoïde et du cercle de fond d'entredent n'est pas défini. Il est recommandé que le tracé de ce raccordement soit un arrondi ;

6° Dans l'application du système, la distance d'axes des bâtis est considérée comme élément *contenant* et doit avoir pour limite minimum la cote exacte (1) ;

7° La série des modules normaux est la suivante :

0,50	1,75	3	4,25	5,50	8	11	16
0,75	2	3,25	4,50	6	8,50	12	1,
1	2,25	3,50	4,75	6,50	9	13	20
1,25	2,50	3,75	5	7	9,50	14	
1,50	2,75	4	5,25	7,50	10	15	

8° Sur tout outil normal doit être frappée ou gravée l'indication du module et aussi, s'il y a lieu, celle du nombre de dents auquel l'outil est destiné.

Recommandations. — En outre, la Commission permanente de Standardisation formule les recommandations suivantes :

9° Si un outil présente une particularité quelconque par rapport au tracé normal correspondant, la mention de cette particularité doit être frappée ou gravée sur l'outil ;

10° Pour toute roue brute de moulage ou d'estampage, il y a lieu d'augmenter le vide au fond des entredents dans la mesure où c'est nécessaire pour éviter tout contact avec les sommets des dents de la roue correspondante ;

11° Il est recommandé d'appliquer la crémaillère étalon aux divers éléments pour lesquels cette application peut être avantageuse (couples où les saillies respectives du pignon et de la roue sont inégales, roues hélicoïdales et crémaillères obliques, vis sans fin).

(1) Dans le projet CNM 151 du Comité de Normalisation de la Mécanique, cette règle est énoncée de la manière suivante :

« Les tolérances sur la distance des axes sont à prendre entièrement en plus, celles sur l'encombrement des dents entièrement en moins, pour éviter tout risque d'interférence ».

Cette modification de forme est d'ailleurs la seule que le Comité de Normalisation de la Mécanique ait apportée au texte établi par la Commission permanente de Standardisation (Note de la Rédaction).

Revues, analyses et informations

Groupes moteurs-pompes électriques pour le refoulement des huiles dans les canalisations (1).

1. Considérations générales. — Il y a quelques années encore, la commande des pompes destinées au refoulement des huiles brutes dans les canalisations de transport était à peu près exclusivement réservée aux moteurs Diesel ou semi-Diesel et aux machines à vapeur ; mais la situation a rapidement changé depuis les perfectionnements apportés aux moteurs-pompes centrifuges à forte pression et aussi, depuis que les sociétés de production et de distribution électriques ont augmenté la puissance de leurs usines génératrices et élargi le champ d'activité de leurs réseaux. Ainsi, depuis le 1er janvier 1927, les compagnies du Texas, Oklahoma et Arkansas ont, à elles seules, installé un nombre suffisant de ces groupes pour absorber une puissance de 115 000 ch, se répartissant en 80 000 ch pour les pompes centrifuges et 30 000 ch pour les pompes à piston; trois autres compagnies disposent chacune de 20 000 ch fournis par les lignes de transmission d'énergie électrique voisines. A cette force motrice s'ajoute celle nécessaire dans les entrepôts et magasins.

2. Considérations économiques. — Comment se fait-il que les compagnies pétrolières trouvent plus avantageux d'acheter l'énergie électrique que d'utiliser le combustible qu'elles ont de première main ? La réponse à cette question est assez embarrassante, mais l'auteur simplifie le problème en faisant remarquer que les dépenses afférentes au pompage peuvent se ramener aux trois postes suivants : 1° charges fixes qui comprennent l'intérêt, l'amortissement, les taxes et les assurances ; 2° frais d'exploitation qui comprennent le prix du combustible ou de l'énergie (électrique), la main-d'œuvre, l'entretien, les lubrifiants, etc. ; 3° dépenses d'administration. Comme ces dernières sont à peu près les mêmes quel que soit le mode d'actionnement des pompes, on peut ne pas en faire état dans une comparaison.

Soit une installation de pompage devant débiter journellement 36 000 hl à la pression de 42 kg : cm² ; les capitaux à investir sont indiqués dans le tableau ci-après pour trois types de stations :

		Station à pompes centrifuges	Station à pompes à piston	Station à moteur à huile et pompes à piston
Capital investi (dollars)		45 000	80 000	200 000
Part relative en	matériel récupérable	16 500	49 000	100 000
	matériel non récupérable	28 500	40 000	100 000

Dans ces sommes sont incorporées les dépenses relatives aux équipements, aux bâtiments, aux habitations du personnel, aux raccords, aux valves, aux tuyaux et à leur installation, mais ces dernières dépenses ne sont pas immuables ; elles dépendent du genre de construction ou d'accessoires adopté ; l'auteur estime pourtant que les chiffres qu'il a donnés s'appliquent bien aux stations moyennes des trois types considérés.

3. Comparaison entre les trois types de stations de pompage. — 1° *Comparaison entre les stations à huile lourde et les stations électriques.* — Pour une exploitation déterminée, c'est un avantage incontestable de n'avoir à faire que de faibles avances de premier établissement et de pouvoir consacrer une forte somme au matériel récupérable, puisque celui-ci représente toujours l'argent liquide. A ce double point de vue et pour l'industrie envisagée ici, la primauté revient aux stations électriques et, parmi celles-ci, ce sont les pompes centrifuges électriques qui détiennent la première place en raison de leur équipement léger qui permet de les démonter et remonter ailleurs sans difficulté.

Les charges d'exploitation comportent, comme on l'a déjà dit, les dépenses de combustible ou d'énergie électrique, de main-d'œuvre, etc. ; or l'alimentation des machines thermiques ne constitue pas une charge onéreuse si l'on évalue l'huile à son prix de revient à la sortie des canalisations, tandis que l'énergie électrique est très coûteuse, c'est même, de beaucoup, l'article le plus grevé de l'exploitation électrique.

En ce qui concerne la main-d'œuvre, il en faut deux fois moins pour l'exploitation électrique que pour l'exploitation thermique ; celle-là n'exige presque pas de lubrifiant, tandis que celle-ci en absorbe des quantités considérables.

D'après l'auteur, un facteur qui joue un rôle important dans les dépenses d'exploitation est la quantité d'huile transportée dans une canalisation pendant une période de plusieurs années ; en effet, si le débit vient à diminuer d'année en année, les dépenses de combustible ou d'énergie subissent également une régression, mais celle-ci sera bien plus sensible dans les stations électriques que dans les stations thermiques, puisque les dépenses d'énergie entrent pour une bien plus large proportion dans les dépenses d'exploitation des premières que des secondes.

Entre autres arguments en faveur des moteurs pompes électriques, l'auteur invoque encore les suivants : frais d'entretien moindres, aucune consommation d'eau, fonctionnement parfait à toute altitude (ce qui permet d'aligner les canalisations suivant un arc de grand cercle de la terre qui représente le parcours minimum), disponibilités en énergie électrique pour l'éclairage des locaux industriels et des maisons d'habitation, personnel réduit (d'où diminution des risques de grève).

2° *Comparaison entre les pompes électriques centrifuges et à piston.* — Les avantages des pompes centrifuges peuvent se résumer comme il suit : 1° faible capital à investir et faibles pertes en matériel non récupérable ; 2° bâtiment des pompes exigu et fondations également réduites ; 3° installation facile et rapide ; 4° moteurs petits et légers ; 5° moteur directement accouplé à la pompe ; 6° maintien d'une pression effectivement constante en faisant varier la viscosité de l'huile ; 7° raccords moins volumineux ; 8° groupes se prêtant plus aisément à la commande automatique. A quoi on objecte que les moteurs-pompes centrifuges ont un faible rendement et qu'il n'existe pas d'unités capables de faire face à tous les volumes d'huile et aux huiles de toute viscosité.

(1) G.-R. Prout. *General electric Review*, septembre 1929, t. xxxii, p. 490-496, 4500 mots, 11 figures.

Les pompes à piston sont caractérisées par les qualités suivantes : 1° rendement élevé ; 2° aptitude pour tous débits ; 3° perte de rendement moins grande dans le traitement d'huiles de haute viscosité ; 4° maintien facile d'une pression constante quel que soit le degré de viscosité de l'huile. Mais on leur reproche : 1° d'exiger beaucoup de capitaux, de grands bâtiments et de puissantes fondations ; 2° de subir une importante dépréciation en raison de leur matériel non récupérable ; 3° de demander de longs délais pour leur installation.

4. LE MAINTIEN D'UNE PRESSION CONSTANTE AVEC LES POMPES CENTRIFUGES ÉLECTRIQUES. — L'auteur consacre plusieurs colonnes à cette question. D'abord, si l'on examine la caractéristique de la pression et du volume débité) d'une pompe centrifuge, on constate que la pression diminue dès que le débit augmente. Or, il est hautement désirable de pouvoir maintenir la pression constante pendant toute l'année et ceci est réalisable de deux façons différentes : 1° par l'emploi d'un surpresseur à un étage travaillant en série avec les pompes principales et entraîné par un moteur à vitesse réglable ; 2° en changeant les aubes des pompes.

Sur une canalisation débitant 60 000 hl par jour et avec une certaine pompe, on a installé un surpresseur capable de satisfaire au plein débit à la pression de 5,3 kg : cm² ; la puissance du moteur qui l'entraîne est de 75 ch, tandis que les moteurs des deux pompes principales ont une puissance individuelle de 400 ch, mais ne sont chargés qu'à 360 ch, soit environ 795 ch pour la charge totale de la station de pompage, pour la viscosité correspondant à la saison d'été. En hiver, le surpresseur est purement et simplement mis hors de service ; au printemps et à l'automne, il marche à un régime réduit, car on ne lui demande plus qu'une surpression de 1,05 kg : cm³ ce qui exige une puissance de 19 ch. Le rendement global de cette installation est de 58 pour 100.

La méthode consistant à changer les palettes des rotors n'est pas aussi souple que celle préconisée ci-dessus ; en particulier, elle ne permet pas de régler la pression avec autant de précision. Souvent on associe trois groupes dans une même station (l'un sert de réserve) ; on peut donner à chacun un type de palettes différent ou encore avoir un jeu de rechange pour chacun et alors on dispose d'un arrangement qui possède toute la souplesse désirable.

Dans d'autres modalités de ce principe, on choisit des moteurs à bagues, à vitesse réglable pour les pompes principales ou des moteurs à bagues avec le dispositif de réglage de Scherbius.

Le plus généralement les pompes sont attaquées par des moteurs d'induction à cage d'écureuil de 200 ch, 2 200 v, 720 t : mn, — 250 ch, 2200 v, 3600 t : mn, — 1000 ch, 2200 v, 1800 t : mn. Il y a aussi en service des moteurs synchrones de 600 ch, 514 t : mn à démarreur magnétique.

La commande automatique des moteurs actionnant les pompes centrifuges est à l'étude, mais les résultats obtenus ne sont pas encore probants. — B. C.

Un régulateur de tension à triodes pour machines puissantes (1).

Le réglage automatique précis de la tension est un des plus sérieux problèmes rencontrés en électrotechnique. Les deux régulateurs habituellement utilisés sont le régulateur d'induction applicable seulement au courant alternatif et le régulateur d'excitation à contact vibrant. Même avec un servomoteur les difficultés sont considérables et il existe un certain retard de fonctionnement. L'auteur possédait un de ces régulateurs et pour en éliminer les inconvénients, il a étudié un nouveau régulateur à commande par triodes. De nombreux essais de ce genre ont déjà été effectués mais surtout dans des buts déterminés ; la méthode nouvelle peut s'appliquer à n'importe quelle machine à courant continu ; une petite modification permet de l'étendre au courant alternatif.

1° *Description* (fig. 1). — Deux triodes sont couplés par une résistance R_3, le second étant un triode de puissance.

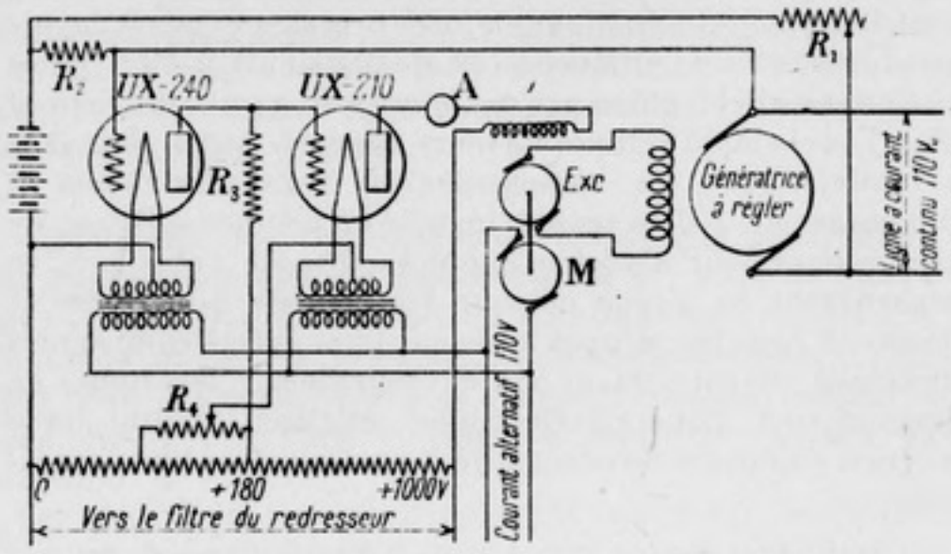


Fig. 1. — Schéma d'un régulateur de tension à triodes.

Son circuit de sortie est branché sur l'enroulement d'excitation de l'excitatrice de la machine à régler. La seule batterie utilisée est la batterie de grille qui compense la tension de la ligne à régler ; elle ne débite aucun courant. Le régulateur est commandé par un unique rhéostat R_1 monté sur la ligne. Toutes les tensions continues sont fournies par un redresseur qui débite sur un potentiomètre ; les filaments sont alimentés par le courant alternatif au moyen de transformateurs individuels. L'enroulement inducteur de l'excitatrice est adapté à la résistance interne de la lampe et en même temps, il travaille très en dessous du coude de la caractéristique, pour augmenter les variations de tension pour une variation donnée de la tension en ligne.

Le fonctionnement est le suivant. Une petite baisse de la tension en ligne produit une diminution du courant de plaque du premier tube ; celle-ci diminue la chute de tension dans la résistance R_3 et par conséquent augmente la tension de grille du deuxième triode. Le courant de plaque de ce dernier, augmentant, accroît l'excitation et par suite remonte la tension en ligne.

2° *Résultats*. — Diverses courbes montrent la comparaison entre les anciens systèmes régulateurs et le nouveau ; celui-ci maintient la tension constante aux erreurs du voltmètre près. Pour éviter les variations dues au courant alternatif qui alimente le redresseur, on emploie un transformateur spécial qui maintient sa tension secondaire constante dans de larges limites de la tension primaire.

3° *Cas du courant alternatif*. — Pour régler une tension alternative, la seule modification consiste à appliquer sur la grille de la première lampe la tension de la ligne redressée par un tube supplémentaire placé devant l'amplificateur. Ce tube est couplé à l'amplificateur par une résistance analogue à celle de ce dernier. — B. D.

(1) L.-C. VERMAN et H.-J. REICH. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, novembre 1929, t. XVII, p. 2075-2081, 2 000 mots, 5 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société française radioélectrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 26 NOVEMBRE 1929.

Le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 20 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 79, boulevard Haussmann, rappelle tout d'abord que l'exercice dont il est rendu compte a eu une durée exceptionnelle de dix-huit mois, du 1er janvier 1928 au 30 juin 1929, conformément à la décision prise par l'assemblée générale extraordinaire du 9 janvier 1929. Il signale ensuite les deux faits les plus saillants de l'exercice : augmentation de 8 millions de francs du capital social et cession à la société La Radiotechnique du département « Radiola » contre une somme de 2 millions de francs en espèces et l'attribution de 40 000 actions de 250 fr, entièrement libérées, dont 8 000 actions A et 32 000 actions B.

Au sujet de cette dernière opération le rapport donne les renseignements suivants :

« L'expérience de plusieurs années montrait nettement que le développement du département d'études et de construction du matériel technique pour les radiocommunications s'accordait mal avec l'extension des fabrications en série et des ventes au public des appareils connus sous la marque « Radiola ». Il s'ensuivait que l'industrie du matériel destiné aux « professionnels » de la radioélectricité qui représente la partie la plus ancienne, la plus importante et la plus productive de notre activité, risquait de se trouver gênée par la fabrication des récepteurs, haut-parleurs et autres accessoires relatifs à la radiodiffusion. Il devenait de plus en plus difficile de mener de front ces deux catégories de construction.

» S'il ne s'était agi que d'une question financière, nous serions venus avec confiance vous demander les capitaux nouveaux réclamés par le développement simultané de nos deux branches d'activité. Mais la difficulté devant laquelle nous étions placés était d'un autre genre. Elle était d'ordre technique, et résultait de l'opposition fondamentale existant entre les méthodes de construction du matériel professionnel et du matériel d'amateur, opposition que l'extension même de ces deux fabrications accroissait chaque jour davantage.

» Il n'y avait que deux moyens de sortir d'embarras : ou bien construire une usine spéciale, pourvue de sa machinerie et de son personnel propres, nettement séparée de nos installations de Levallois-Perret, et disposant d'un service commercial qui lui fût particulier ; ou bien apporter à un autre organisme la totalité de notre département d'appareils d'amateurs, à des conditions susceptibles de représenter équitablement la valeur matérielle et morale de l'actif cédé. Entre les deux systèmes, le second a paru à votre conseil à la fois plus pratique et moins onéreux que le premier, et c'est dans ces circonstances qu'il a conclu avec La Radiotechnique l'accord indiqué plus haut.

» Vous savez que l'objet principal de La Radiotechnique est l'étude, la production et la vente des lampes de T.S.F. Or, les progrès techniques de ces lampes commandent ceux que l'on peut réaliser dans les appareils récepteurs destinés à les utiliser. Ce sont aussi les mêmes méthodes de travail en grande série. Et, enfin, la clientèle des lampes et celle des récepteurs étant la même, la raison commerciale s'ajoute à la raison technique pour que ces deux branches soient exploitées conjointement par la même société. L'importance de notre participation dans le capital de La Radiotechnique (40 000 actions sur un total de 140 000) doit nous assurer une portion substantielle des résultats bénéficiaires généraux de cette société, dont vous connaissez la prospérité.

» Nous ajoutons que, grâce à cette opération, nous pouvons désormais concentrer tous nos efforts sur la production des appareils professionnels, dont le développement augmente d'une façon constante, et dans des conditions techniques de fabrication sensiblement améliorées. Les heureux effets de cette situation nouvelle commencent à se faire sentir. »

L'examen du bilan montre que, à l'actif, il y a augmentation de 3 310 185,19 fr du poste Etablissement de Levallois-Perret, par suite de constructions, aménagements et outillages nouveaux nécessités par le développement des fabrications. Le compte portefeuille a augmenté de 10 millions de francs par suite de l'apport fait à la société La Radiotechnique. Par contre, pour cette dernière raison, le compte marchandises en magasins est en diminution de 1 217 157,69 fr. Les ordres et travaux en cours accusent aussi une diminution, qui est de 3 012 841,78 fr. Au passif du bilan, on relève une augmentation de 8 millions de francs du capital social, une augmentation de 4 212 640,05 fr des amortissements, provisions et réserves, et une diminution de 2 778 111,97 fr du compte créditeur.

Le compte de profits et pertes accuse un bénéfice brut de 5 443 839,16 fr dont il faut déduire : 1 157 875,53 fr pour les frais généraux et 826 606 fr pour les amortissements, soit, au total 1 984 481,53 fr.

Le bénéfice net ressort ainsi à 3 459 357,63 fr, auquel vient s'ajouter le report de l'exercice 1927, de 390 573,57 fr.

Il en résulte un solde disponible de 3 849 931,20 fr qui est réparti comme il suit : 5 pour 100 de 3 459 357,63 fr à la réserve légale, 172 967,88 fr ; intérêt statutaire de 5 pour 100 aux 200 000 actions pour 18 mois, 1 500 000 fr ; au conseil d'administration, 178 638,97 fr ; supplément de 7,50 fr aux actions, 1 500 000 fr ; solde à reporter à nouveau, 498 324,35 fr.

Le dividende se trouve ainsi fixé à 15 fr sous déduction des impôts.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Etablissement de Levallois-Perret :	
Terrains	1 723 950 »
Bâtiments	3 904 138,79
Aménagements	3 028 195,91
Matériel	4 483 170,92
Laboratoire d'études de Houilles	244 782,10
Mobilier et aménagement du siège social	1 »
Brevets	1 »
Dépôts et loyers d'avance	34 755,50
Marchandises en magasins	10 297 640,98
Ordres et travaux en cours	1 548 491,54
Cautionnements	266 395,45
Portefeuille	10 090 445 »
Avances aux fournisseurs	923 050,42
Débiteurs	19 951 301,58
Effets à recevoir	113 739,30
Caisse et banques	3 336 394,80
	59 946 454,29

Passif.

	fr
Capital social	20 000 000 »
Réserve légale	1 059 489,03
Amortissements, provisions et réserves	13 690 876,94
Fournisseurs	5 103 894,31
Créditeurs	16 242 262,81
Report de l'exercice précédent	390 573,57
Bénéfice net de l'exercice	3 459 357,63
	59 946 454,29

Société Electro-Câble.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 NOVEMBRE 1929.

Des rapports concernant l'exercice 1928-1929 de cette société, au capital de 82 500 000 fr et dont le siège social est à Paris, 62, avenue d'Iéna, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Conformément au programme qu'elle s'est tracé depuis plusieurs années déjà, la société a poursuivi l'adaptation progressive à tous les progrès de la technique moderne.

Les usines de Paris de la société ont continué à travailler à plein rendement.

Aux usines d'Argenteuil, le développement des câbles d'aluminium acier et d'alliages d'aluminium, qui intéressent une clientèle de plus en plus étendue, et la demande croissante en câbles armés à haute tension, de plus en plus répandus à l'étranger, ont contraint la société à envisager la construction de nouveaux ateliers où sont mis en œuvre de très heureux perfectionnements. D'autre part, la société a pu acquérir récemment à Argenteuil 25 000 m² de terrains limitrophes de ses usines actuelles, terrains sur une partie desquels se trouve construit un important bâtiment industriel. On y procède actuellement à l'installation d'ateliers de câbles téléphoniques, pourvus des derniers perfectionnements actuellemeut connus. La société compte, en outre, grâce aux possibilités nouvelles qui lui sont ainsi offertes, accroître sensiblement sa production d'aluminium.

La société a transporté aux usines d'Amfreville-la-Mi-Voie la fabrication des câbles de signalisation pour chemins de fer et des câbles à grosse section isolés au caoutchouc.

A Amfreville également elle va mettre en route un atelier pour la fabrication de pavés en caoutchouc analogues à ceux qui sont actuellement employés avec succès en Angleterre, et un atelier pour la fabrication d'un enduit spécial susceptible de rendre l'asphalte antidérapant et qui constitue un revêtement de premier ordre pour les chaussées à grande circulation. La fabrication des tapis de caoutchouc continue d'ailleurs à se développer rapidement par suite de l'extension de l'emploi de ces tapis dans les théâtres, les cinémas, les hôtels, les grands paquebots.

Le rapport du conseil d'administration rappelle ensuite que, au cours de l'exercice 1928-1929, le capital-actions a été porté de 55 000 000 à 82 500 000 fr; il signale, en outre, que tout récemment il a été procédé à l'émission de 50 000 obligations de 1 000 fr chacune.

D'après le compte de profits et pertes, le bénéfice brut de l'exercice s'est élevé à 56 071 403 fr. Il en est déduit : pour les frais généraux, 19 062 577,65 fr; pour amortissements (notamment ceux des frais d'augmentation du capital), 10 552 610,72 fr; pour le service commercial, 11 522 610,79 fr; pour le service financier, 3 262 827,40 fr; soit, au total, 44 400 558,59 fr. Le bénéfice net ressort ainsi à 11 670 844,41 fr.

Ce bénéfice est réparti comme il suit : réserve légale, 583 542,22 fr; intérêt statutaire de 7 pour 100 aux actions B, 420 000 fr; intérêt statutaire de 6 pour 100 aux actions A et C (les actions nouvelles ne recevant que la moitié de cet intérêt), 3 403 750 fr; conseil d'administration, 718 355,21 fr; réserves et amortissements, 3 715 196,98 fr; répartition du solde entre les actions, 2 750 000 fr.

Le dividende des différentes catégories d'actions se trouve dès lors fixé : à 10 pour 100 pour les actions A, soit 50 fr par action ancienne comme au précédent exercice (1) et 25 fr par action nouvelle; à 11 pour 100 pour les actions B, soit 55 fr comme l'an dernier; à 27,50 fr par action C ancienne et 13,75 fr par action C nouvelle.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution et de premier établissement	1 »
Prime d'émission des obligations	1 »
Immeubles	40 264 004,78
Matériel, outillage et installations	44 838 231,70
Mobilier	1 270 281,97
Marchandises générales	132 485 155,99
Comptes débiteurs	175 590 483,76
Espèces en caisses et dans les banques	28 942 164,33
	423 390 324,53

Passif.

	fr
Capital	82 500 000 »
Obligations	48 030 500 »
Crédits à long terme	43 351 413,95
Réserves, provisions diverses et amortissements	51 814 179,51
Effets à payer	78 600 979,19
Créditeurs divers	107 422 407,47
Profits et pertes	11 670 844,41
	423 390 324,53

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 26 janvier 1929, t. XXV, p. 154.

SECTION DE LÉGISLATION

Le relèvement des tarifs de concession et les instances en indemnité pour charges extracontractuelles

(Arrêt du Conseil d'État du 27 décembre 1929)

L'arrêt que l'on lira ci-dessous, confirme la jurisprudence antérieure du Conseil d'Etat, et décide, encore une fois, que vainement un conseil municipal invoquerait comme une fin de non recevoir de l'instance entreprise par les concessionnaires pour avoir une indemnité, sa délibération les autorisant à majorer les tarifs d'avant-guerre. D'autre part, le nouvel arrêt réitère que le point de départ de l'indemnité due n'est pas fixé par la date de la demande en justice, mais par celle à laquelle le préjudice a commencé.

I. **Prétentions réciproques des parties litigantes.** — La commune de Cossé-le-Vivien demandait au Conseil d'Etat de réformer un arrêté du Conseil de Préfecture de la Mayenne, qui, le 28 août 1926, avait prescrit une expertise à l'effet de vérifier si était bien justifiée par les chiffres la demande en indemnité formulée par les concessionnaires de l'éclairage électrique, les frères Geslin. Cet arrêté, d'après la commune, serait inacceptable bien que limité à une mesure d'instruction; car il aurait dû déclarer irrecevable la demande des frères Geslin par ce fait qu'en 1922 ils auraient mis en application une majoration de tarifs que le conseil municipal leur avait accordée, avec approbation préfectorale. Sans doute, ils avaient formulé dans la suite de nouvelles réclamations, mais en les basant sur l'usure constatée de leur matériel, et non pas sur l'insuffisance du relèvement précité; ils étaient donc forclos.

Subsidiairement, pour le cas où le premier moyen serait rejeté, la commune sollicitait la réformation de l'arrêté sur le point de départ des dommages-intérêts, qui ne pouvaient, en aucun cas, remonter à une période antérieure à la demande officielle d'indemnité présentée par les concessionnaires (29 novembre 1923).

On devine aisément ce que les frères Geslin répondaient : il suffit, pour le savoir, d'analyser l'arrêt qui leur donne complète satisfaction.

II. **Résumé de la décision intervenue.** — Nous avons affirmé que l'arrêt est en conformité de la jurisprudence du Conseil d'Etat (1); pour que cette affirmation ne paraisse point étrange, nous nous empressons de reconnaître que certains arrêts, en apparence au moins, donnent une impression différente. Mais, en les rendant, le Conseil d'Etat a souligné que le concessionnaire qui se présentait devant lui, loin de s'être contenté d'accepter un relèvement de tarifs, avait précisé la portée de son acceptation, en lui donnant le sens formel d'un abandon même pour l'avenir, de toute revendication au sujet d'une indemnité. Le 2 février 1923, le Conseil d'Etat observe que si la ville de Châteaudun a autorisé la Compagnie d'Eclairage et de Chauffage à augmenter de huit centimes le prix du mètre cube de gaz, c'est en spécifiant que la concessionnaire considérerait comme définitive cette surtaxe, qu'elle ne demanderait, pendant la durée de la concession, aucune modification, et enfin qu'elle prendrait à sa charge toutes les éventualités futures à forfait et sans limite (*Recueil*, page 112). Le 27 février 1925, on voit le Conseil invoquer comme une déchéance du droit de demander une indemnité, ce fait que, par des avenants successifs, la concession gazière de la ville de Lure avait été prorogée avec des tarifs nouveaux qui, non seulement plus élevés que les prix initiaux, devaient être révisés périodiquement suivant les fluctuations des prix de revient du gaz (*Recueil*, page 196), Enfin l'arrêt du 12 février 1926 a fait triompher la commune d'Essonnes, en remarquant que le concessionnaire, demandeur en indemnité, s'était désisté, quelque temps auparavant, d'une instance de même nature. (*Recueil*, page 160.)

Il suffit de comparer ces arrêts, avec la décision actuelle qui a été rendue, dans une instance où il n'existait même pas d'avenants, et simplement une délibération.

D'ailleurs, et c'est en ce point que la jurisprudence se trouve surabondamment confirmée, le Conseil d'Etat, même quand il existe un acte contractuel, ne tolère pas que, par une interprétation savante, la commune fasse une extension téméraire du sens de l'avenant; celui-ci est strictement limité à la sphère qu'il a envisagée. Ainsi, dans l'affaire Ville de Pézenas contre la Société industrielle du Gaz et de l'Electricité du 20 janvier 1928, quand un avenant a statué sur ce qui se passera dans l'avenir, on ne saurait en déduire une forclusion pour la période antérieure. Inversement, quand un avenant au 10 juillet 1919, a donné une solution définitive, à toute difficulté antérieure, il peut être examiné en lui-même au point de vue de l'extracontractualité de ses clauses, mais sans permettre un retour sur le passé.

La fixation par la ville de certaines majorations (en dessous de celles qui avaient été demandées par les

(1) Voir notre article paru dans la *Revue générale de l'Electricité*, le 5 mai 1928, t. XXIII, p. 795-798.

concessionnaires) ne pouvait donc pas être prise en un sens plus favorable pour elle que si elle avait été constatée dans un simple avenant ne contenant aucune renonciation au sujet d'une indemnité possible.

III. **Point de départ de l'indemnité.** — Il était relativement tard, en 1929, pour essayer de faire admettre par le Conseil d'Etat que la demande en justice, ou au moins une demande officielle, était nécessaire pour déterminer le « déclenchement » de l'indemnité. A plusieurs reprises, et notamment dans l'arrêt du 18 mai 1927 (Ville de Pauillac contre Société industrielle girondine), le Conseil d'Etat a déclaré que si une société justifie que l'avenant qui lui a été consenti en novembre 1916 ne lui a pas donné la possibilité de faire face aux circonstances qui se sont produites après la signature de cet acte, la réparation du préjudice doit être accordée à partir du jour où il est prouvé, sans avoir égard à la date de la demande de relèvement de tarifs; l'arrêté du Conseil de Préfecture de la Gironde a été annulé pour avoir ordonné aux experts de ne pas remonter plus haut que cette date qui était celle du 11 décembre 1921.

Si, sur ce dernier point quelques personnes ont pu être troublées, c'est par suite de la lecture d'un arrêt ou de quelques commentaires maladroits qui en ont été faits. Nous voulons parler de l'arrêt du 2 novembre 1927 (affaire Ville de Béthune contre Société béthunoise), dans lequel le Conseil d'Etat attribue à l'indemnité pour charges extracontractuelles comme point de départ la demande en justice. Mais cette décision est basée sur une simple question de procédure : la société, victime de cette erreur du premier juge, n'avait formulé contre l'arrêté du Conseil de Préfecture aucun recours incident. Le Conseil d'Etat ne peut pas suppléer aux omissions des parties litigantes.

Il serait d'ailleurs difficile de trouver une décision de justice plus explicite sur le principe, que l'arrêt dont on va lire le texte ; on y remarquera notamment cette phrase, qui statue en fait et en droit : « Considérant qu'il résulte des pièces jointes au dossier que les sieurs Geslin se sont bornés le 29 novembre 1923 a renouveler des réclamations déjà plusieurs fois formulées par eux au cours des années précédentes; qu'au surplus, la commune n'eût elle pas été saisie antérieurement à la date ci-dessus visée, cette circonstance ne pourrait, à elle seule, être regardée comme constituant une reconnaissance implicite du fait que les sieurs Geslin, n'avaient jusqu'à ce jour subi aucune charge extracontractuelle et ne pouvait dès lors les priver du droit de demander une indemnité pour les préjudices qu'ils justifieraient dans le passé ».

IV. **Texte de l'arrêt.** — Considérant que pour soutenir que c'est à tort que le Conseil de préfecture de la Mayenne saisi par les sieurs Geslin d'une demande d'indemnité pour charges extracontractuelles, a, dans la mission confiée par lui aux experts, précisé que le point de départ de la période extracontractuelle devrait être déterminé en tenant compte des prévisions que les parties avaient pu former en 1907, date du traité de concession la commune de Cossé-le-Vivien, se fonde sur ce qu'un accord intervenu en 1922 aurait réglé entre elle et lesdits sieurs Geslin les conséquences dommageables que la guerre a pu entraîner ;

Considérant que si, à la suite d'une demande de relèvement de tarifs formée par les sieurs Geslin, le Conseil municipal a, dans sa séance du 28 mai 1922, autorisé une majoration d'ailleurs inférieure à celle qui lui avait été demandée, il ne résulte de l'instruction, ni que les concessionnaires aient, au cours des pourparlers qui ont précédé la délibération du Conseil municipal, présenté la majoration qu'ils demandaient comme devant, à la fois, leur permettre d'assurer la continuité du service public et compenser les pertes déjà subies par eux dans le passé, ni qu'en acceptant de percevoir provisoirement les tarifs votés par le Conseil municipal, ils aient entendu renoncer aux réclamations précédemment formulées par eux à raison du bouleversement que la guerre aurait depuis 1916 apporté dans l'économie de leur contrat; que, dans ces circonstances c'est à bon droit que le Conseil de Préfecture a, par l'arrêté attaqué, décidé que la limite, au delà de laquelle les conditions d'exploitation du service concédé ont revêtu un caractère extracontractuelle, doit être déterminée en tenant compte des prévisions que les parties avaient pu former non pas en 1922, mais en 1907, étant spécifié d'ailleurs que, pour le calcul de l'indemnité due aux sieurs Geslin, il devra être tenu compte des ressources supplémentaires que leur a procurées à partir de 1922 l'application des nouveaux tarifs ;

Sur les conclusions subsidiaires de la commune :

Considérant que les conclusions tendent à faire reconnaître que les concessionnaires ne peuvent prétendre à indemnité pour charges extracontractuelles qu'à compter du jour où ils ont saisi l'autorité concédante de leurs réclamations et à faire fixer en conséquence le point de départ de la période extracontractuelle au 29 novembre 1923, date à laquelle, les sieurs Geslin auraient, pour la première fois, présenté une réclamation fondée sur le bouleversement de l'économie de leur contrat;

Considérant qu'il résulte des pièces jointes au dossier que les sieurs Geslin se sont bornés, le 29 novembre 1923, à renouveler des réclamations déjà plusieurs fois formulées par eux au cours des années précédentes; qu'au surplus, la commune n'eût elle pas été saisie antérieurement à la date ci-dessus visée, cette circonstance ne pourrait à elle seule être regardée comme constituant une reconnaissance implicite du fait que les sieurs Geslin n'auraient jusqu'à ce jour subi aucune charge extracontractuelle et ne pouvait, dès lors, les priver du droit de demander une indemnité pour le préjudice qu'ils justifieraient avoir subi dans le passé.

Décide : article premier : La requête ci-dessus visée de la commune de Cossé-le-Vivien est rejetée (la commune condamnée aux dépens).

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 6. — 8 FÉVRIER 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 1er février 1930, p. 193. — A propos des symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique, p. 194. — Bibliographie : L'électricité à la maison, par E. MAREC, p. 194.

Section scientifique et technique. — Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette, par Jean SILVA, p. 195. — Revues, analyses et informations : Le schéma équivalent du transformateur à trois enroulements, p. 206; La structure des diélectriques et leur rupture, p. 208; Démonstration expérimentale de l'équivalence d'une charge électrostatique animée mécaniquement d'un mouvement oscillatoire à un courant alternatif, p. 209; Considérations sur l'émission d'électrons par les conducteurs soumis à des champs intenses, p. 210.

Section industrielle. — La commande des machines à papier à plusieurs moteurs avec synchronisation électrique des vitesses, par R. LOUCHART, p. 211. — Nouvelles contributions expérimentales à l'étude d'un disjoncteur limiteur ultrarapide. Etude de la rapidité de fonctionnement d'un disjoncteur limiteur ultrarapide, par P. BRANCHU, p. 217. — Revues, analyses et informations : Films sonores et films parlants, p. 221.

Section économique et financière. — L'évolution économique et sociale de l'industrie houillère depuis 1914, p. 223. — Assemblées générales : Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe, p. 231.

Société française des Electriciens : Séance du 1er février 1930. — L'ordre du jour de cette séance comprenait les quatre parties suivantes : *a*) Une communication de M. H. Parodi, président entrant sur *Le développement de l'électricité et l'évolution des conceptions scientifiques* ; *b*) La remise d'une médaille de bronze à l'effigie de Mascart : à M. A. Dauvilliers, titulaire du prix Cheux pour 1929 et à MM. Chauveau et Mesny, titulaires du prix Ancel pour 1929 ; *c*) Une discussion de la communication de M. Roy sur les *Redresseurs à vapeur de mercure* ; *d*) Une communication de M. le lieutenant de vaisseau Nandillon, intitulée *Un nouveau dispositif de mesure en courant alternatif musical : le potentiomètre-phasemètre. Application à la phonométrie.*

1. COMMUNICATION DE M. H. PARODI. — En prenant la présidence de la Société française des Electriciens, M. H. Parodi a présenté un magistral exposé de l'évolution des conceptions scientifiques durant ces trente dernières années : il montre comment les physiciens, qui croyaient à la fin du XIXe siècle que les phénomènes se déroulaient en fonction d'un temps absolu dans un univers continu suivant les règles d'un déterminisme rigide ont été peu à peu amenés par le développement de la théorie des quanta et des théories de la relativité à envisager le monde sous un aspect nouveau, caractérisé par la relativité du temps, la discontinuité de l'action mécanique et leur indétermination, peut-être seulement formelle, dans les phénomènes élémentaires.

La mécanique relativiste et quantique qui s'est constituée maintenant suivant les idées d'Einstein et de Planck peut être considérée comme une *seconde approximation* de la physique rationnelle dont la mécanique physique classique n'était que la première. Cette seconde approximation est caractérisée par l'introduction des deux constantes universelles, la vitesse de la lumière et le quantum d'action, supposées respectivement infime et nulle en mécanique classique.

Les tentatives faites, dans ces dernières années, pour constituer la mécanique quantique ne diffèrent les unes des autres que par le mode d'introduction du quantum d'action h et par la forme donnée aux équations de la mécanique classique prise comme point de départ :

Heisenberg et Max Born créent leur mécanique quantique et matricielle en partant des équations d'Hamilton après avoir défini la cinématique des mouvements élémentaires par une série de Fourrier multipériodique mise sous forme de matrice d'Hermite ; ils adoptent pour la quantification la règle symbolique de Kuln et Thomas $pq - qp = \frac{h}{2\pi}$.

Dirac étend la théorie d'Heisenberg aux mouvements non périodiques en définissant des nombres symboliques q par des relations de la forme $pq - qp = 1$ quand q et p représentent respectivement une coordonnée généralisée et le moment correspondant ; la différence $pq - qp$ étant nulle quand les moments et les coordonnées généralisés ne se correspondent pas. Dirac pour établir sa mécanique utilise l'analogie de forme existant entre la relation de Kuhn et Thomas et les identités de Poisson de la mécanique classique.

Schrödinger applique les idées de de Broglie à la recherche d'une mécanique ondulatoire définie et partant de l'équation de Jacobi de la mécanique classique ; comme l'ont montré MM. Isakson et Proca, l'équation des ondes de Schrödinger n'est pas l'équation la plus générale que l'on puisse déduire de la forme de Jacobi, elle suppose à priori que tous les mouvements considérés sont vibratoires.

M. Parodi indique que pour construire une mécanique quantique et relativiste conciliable avec la théorie du champ unitaire d'Einstein il y aurait lieu de partir des équations générales de la mécanique applicables aux systèmes non holonomes, c'est-à-dire des équations que P. Appell déduit de la considération de « l'énergie d'accélération ».

Ces différentes méthodes de construction d'une mécanique quantique quand les équations de liaison entre coordonnées normales et coordonnées généralisées sont holonomes, conduisent à des résultats équivalents, comme l'a établi Schrödinger dans une série de mémoires d'une extrême ingéniosité.

Schrödinger montre comment la relation de Kuhn et Thomas $pq - qp = 1$ se ramène à une identité quand on donne au moment p le sens « d'opérateur » que lui assigne la mécanique classique

$$p \equiv \frac{\partial}{\partial q};$$

en effet, on a alors

$$pqf - qpf = \frac{\partial}{\partial q}(qf) - q\frac{\partial}{\partial q}(f) = q\frac{\partial f}{\partial q} + f - q\frac{\partial f}{\partial q} = f,$$

ou enfin $$pq - qp = 1.$$

Toutes ces théories quantiques ont pu être mises sous forme relativiste par de Broglie, Klein, Einstein, Fock, etc. Kaluza et de Broglie ont montré quels avantages pouvait présenter la considération d'un espace à cinq dimensions. Klein, Fock et d'autres ont même mis les équations de la mécanique sous une forme compatible avec la théorie de la relativité généralisée.

Les difficultés que soulève la mécanique ondulatoire de de Broglie-Schrödinger, notamment en ce qui concerne la stabilité des « paquets d'ondes » et l'impossibilité d'écrire dans le cas général l'équation des ondes autrement que dans un espace de configuration à un nombre de dimensions égal à celui des variables, font perdre aux ondes pilotes de de Broglie-Schrödinger le sens physique concret qu'elles avaient à l'origine. Cette difficulté qui sera peut-être levée plus tard est d'autant plus fâcheuse que les conceptions de de Broglie ont reçu des confirmations expérimentales très nettes telles que celles fournies par les recherches de Davisson et Germer, G.-P. Thomson, etc.

Heisenberg en énonçant son fameux principe d'indétermination « toute observation précise d'un phénomène atomique est impossible » tend à justifier l'introduction des méthodes statistiques en micromécanique. Les lois qui régissent les mouvements observables par nos sens grossiers et qui semblent conformes à un déterminisme rigoureux ne seraient au fond que des lois statistiques, analogues à celles rencontrées en énergétique, traduisant l'action collective d'actions élémentaires indiscernables.

L'analogie entre les lois de la mécanique classique et celle de l'énergétique a été mise en évidence par M. Proca en établissant un parallèle entre l'action et l'entropie, entre le principe de moindre action et le principe de Carnot ou de moindre entropie.

M. Parodi reprenant le thème qu'il a développé récemment dans une séance commune de la Société des Ingénieurs civils de France et de la Société française des Electriciens, qui s'est tenue le 24 janvier dernier, montre l'évolution suivie par les théories de la relativité de la théorie de la relativité restreinte à la théorie du champ unitaire d'Einstein en passant par les théories de relativité génératrice et les géométries de Weyl et d'Eddington. Ces théories permettant de mettre au point une géométrie analytique générale susceptible de représenter dans un univers espace-temps à quatre dimensions tous les phénomènes naturels aussi bien ceux rentrant dans le domaine de la gravitation que ceux rentrant dans le domaine de l'électromagnétisme.

L'outillage mathématique mis ainsi à la disposition du physicien, et qui lui est aussi indispensable que la trigonométrie sphérique au marin ou la représentation conforme au cartographe, constitue le calcul tensoriel.

M. Parodi termine sa conférence par une comparaison entre la mécanique quantique et relativiste et la mécanique classique, qui permet de se rendre compte des rôles respectifs joués dans les recherches nouvelles par la théorie des quanta et celle de la relativité. (*A suivre.*)

A propos des symboles graphiques internationaux concernant l'électrotechnique. — M. Le Maistre, secrétaire général de la Commission électrotechnique internationale, nous signale qu'une erreur s'est glissée dans les quelques lignes de texte publiées en bas de la page 128 de notre numéro du 25 janvier 1930.

On y lit que les symboles en question « ont été adoptés officiellement par la Commission électrotechnique internationale dans sa réunion plénière en juin 1928 ». La dernière réunion plénière de la Commission électrotechnique internationale ayant eu lieu en 1927, à Rome, l'erreur était flagrante et nous sommes surpris qu'elle nous ait échappé. En réalité, ces symboles ont été établis par un sous-comité de la Commission électrotechnique internationale et un sous-comité du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance, réunis à Berne les 24, 25, 26 et 27 avril 1928 pour se mettre d'accord sur les symboles concernant la téléphonie et la télégraphie et les 25 et 26 septembre 1928 pour ceux concernant les radiocommunications. Les premiers, les symboles télégraphiques et téléphoniques, ont été adoptés officiellement par le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance dans la réunion plénière qu'il tint à Paris en juin 1928 (et c'est là sans doute la source de l'erreur commise). Quand à l'adoption des deux groupes de symboles par la Commission électrotechnique internationale, elle ne pourra avoir lieu que dans la réunion plénière que tiendra cette commission en juin prochain en Scandinavie, mais tout fait prévoir qu'ils seront adoptés sans modifications.

Bibliographie : L'électricité à la maison, par E. Marec (1). — Cet ouvrage a été élaboré pour permettre à l'amateur et au consommateur d'installer eux-mêmes ou de faire installer chez eux des appareils électriques.

L'auteur a passé en revue la notion d'énergie électrique ; les formes industrielles sous lesquelles on la produit, comment on la distribue, comment on la mesure et comment on la paie ; enfin il a développé d'une manière toute particulière la question des divers genres de canalisations et plus particulièrement celles intérieures, notamment pour le choix judicieux des divers montages. Pour chaque appareil l'auteur indique, quand il y a lieu, son mode de représentation schématique ; il donne un dessin représentant l'aspect extérieur et fournit toutes les explications d ordre pratique nécessaires à l'utilisation. — I. F.

(1) Un volume, format 18 cm × 11 cm, de 462 pages avec 451 figures, dans le texte, édité par la librairie J.-B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, à Paris (6e). Prix : broché, 24 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette

Sous ce titre, M. Silva a présenté un mémoire à la dernière session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension que nous n'avons pu que mentionner (*) dans le compte rendu, publié dans ces colonnes, des travaux en question. C'est un résumé de ce mémoire que nous faisons paraître ici, résumé qui, établi par l'auteur lui-même, est assez détaillé pour qu'il soit possible non seulement de comprendre le principe de la contribution apportée à l'étude envisagée, mais encore d'en tirer parti dans les applications. Reprenant l'équation de la chaînette, l'auteur introduit la notion de la similitude des chaînettes, d'où résultent, comme on peut le prévoir, de grandes simplifications dans les calculs. Ceux-ci sont basés sur l'étude de chaînettes « types » auxquelles seront rapportées celles correspondant aux cas pratiques considérés. L'exposé du principe de la méthode proposée est suivi de quelques applications au calcul de tous les éléments de la chaînette avec différence de niveau entre les points d'appui, avec isolateurs rigides, à la détermination de l'influence sur ces éléments des changements d'état, à celle de l'influence sur les tensions et les flèches des chaînes d'isolateurs de suspension et enfin au calcul des conditions d'équilibre en cas de rupture d'un fil.

PREMIÈRE PARTIE : **Chaînette entre points d'appui fixes**

I. **Etude générale de la chaînette.** — 1. QUELQUES DEFINITIONS. EQUATION DE LA CHAINETTE. — La chaînette est la courbe d'équilibre d'un fil inextensible chargé par une force uniformément répartie le long du fil attaché à ses extrémités à deux points fixes A et B. Cette courbe appartient tout entière au plan parallèle à la direction de la force et qui contient les points A et B. En particulier, un fil homogène et de section constante, sous l'influence de son propre poids, se dispose sur un arc de chaînette qui appartient à un plan vertical.

En considérant les deux projections du segment AB (fig. 1), l'une normale AC, l'autre parallèle CB à la direction de la force, on définira la portée d comme étant la longueur de la projection AC, exprimée en mètres, et la différence de niveau h comme étant la longueur de la projection CB (également exprimée en mètres).

Sur la figure 1 la flèche indique la direction de la force appliquée. Si cette force est verticale, les deux projections précédentes AC et BC coïncident avec la distance horizontale et la différence de niveau topographique entre les points A et B. Si, au contraire, elle n'est pas verticale, nous verrons par la suite comment on peut déterminer la portée et la différence de niveau vraies en fonction des éléments topographiques respectifs.

Remarquons que le problème conserve son caractère général si l'on suppose CB supérieur ou égal à zéro. Nous dirons que A est l'appui inférieur et B, l'appui supérieur.

La chaînette est symétrique par rapport à un axe parallèle à la direction de la force et qui passe par le point singulier M, ce point étant caractérisé par la différence de niveau maximum par rapport au point B. Il est aussi le seul point de la chaînette où la tangente soit normale à la direction de la force appliquée.

Nous appelons flèche la différenee de niveau f exprimée en mètres, entre A et M (fig. 1).

Il sera bon de répéter que nous mesurons toujours les différences de niveau dans une direction parallèle à celle de la force appliquée et les portées dans une direction normale à la précédente.

La tension T_p en un point P du fil a la même direction que la tangente à la chaînette en ce même point; elle a deux composantes, l'une normale, l'autre parallèle à la direction de la force appliquée. On sait que la première composante T_0 est constante pour tous les points de la chaînette. Si la force agit dans la direction verticale, cette composante T_0 est couramment appelée tension horizontale. Cette tension T_0 représente aussi la tension totale au point singulier M. Les tensions seront exprimées en kilogrammes par millimètre carré de la section du fil.

Si δ est l'intensité de la force appliquée, en kilogrammes par mètre de longueur et par millimètre carré de section, on voit que δ est homogène à un poids spécifique.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 17 août 1929, t. XXVI, p. 236.

Posons

$$a = \frac{T_0}{\delta}, \qquad (1a)$$

et appelons a le paramètre de la chaînette. En raison des unités adoptées, a sera exprimé en mètres. Deux chaînettes de même paramètre seront homogènes.

L'équation de la chaînette peut se mettre sous la forme

$$y = a \cosh \frac{x}{a}, \qquad (1b)$$

si l'on choisit convenablement les axes de coordonnées (fig. 1), c'est-à-dire si l'axe des y coïncide avec

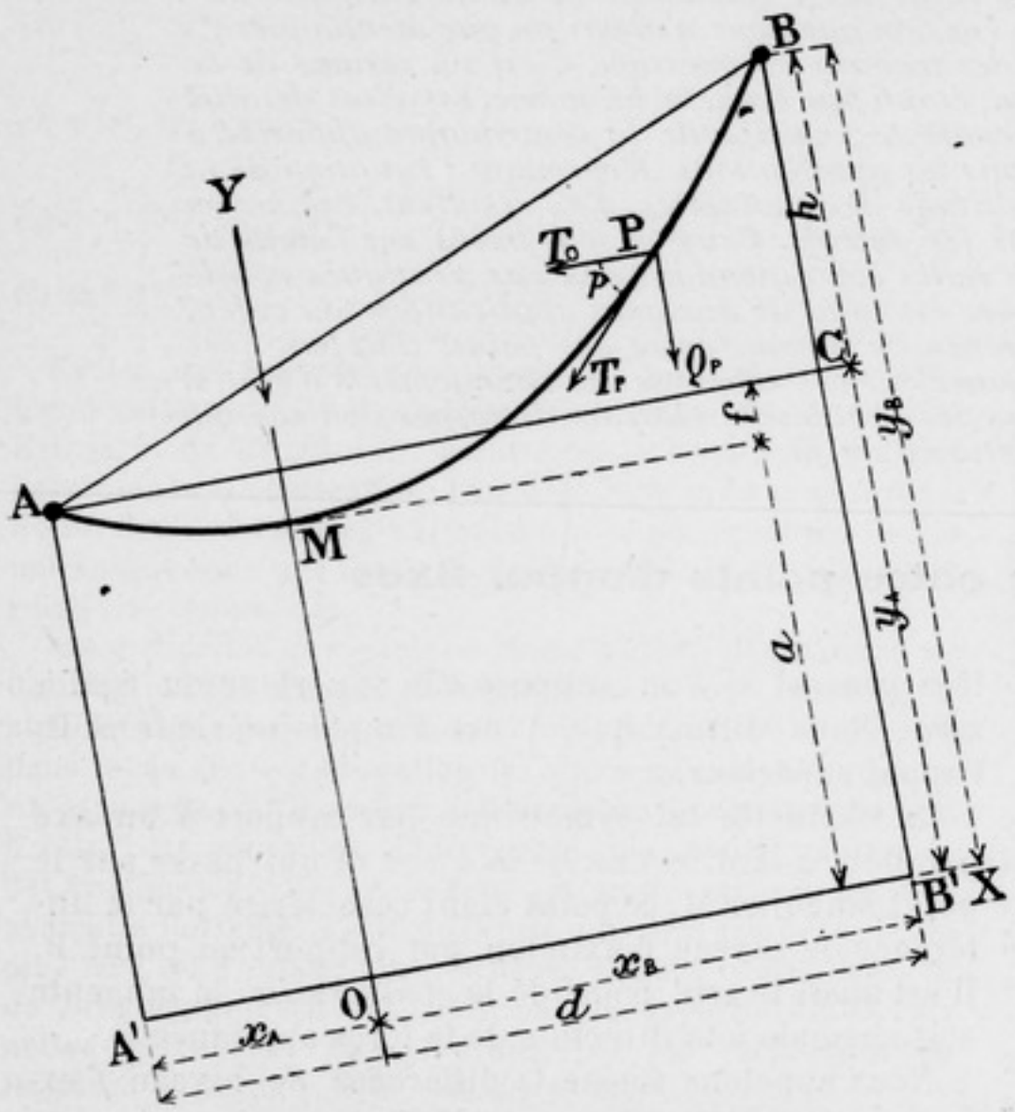


Fig. 1. — Chaînette à axe non nécessairement vertical, courbe d'équilibre d'un fil tendu entre deux points d'appui à des niveaux différents.

l'axe de symétrie de la chaînette, l'axe des x est normal au précédent et l'origine O en un point tel que la différence de niveau entre M et O soit de a mètres.

L'équation (1 b) peut s'écrire

$$\frac{y}{a} = \cosh \frac{x}{a}. \qquad (1c)$$

Sous cette forme bien plus symétrique il apparaît que tous les calculs pourront se simplifier si l'on prend pour unité de mesure des longueurs le paramètre a au lieu du mètre.

Les mesures rapportées au mètre x, y, d, h, f..... seront donc remplacées par les mesures absolues par rapport au paramètre a

$$X, Y, D, H, F, \ldots\ldots$$

définies par

$$X = \frac{x}{a} \quad D = \frac{d}{a} \quad F = \frac{f}{a},$$

$$Y = \frac{y}{a} \quad H = \frac{h}{a} \quad \ldots\ldots$$

Le même procédé sera appliqué à toutes les autres mesures de longueurs que nous devrons introduire dans nos calculs.

L'équation de la chaînette en mesures absolues est alors la suivante

$$Y = \cosh X. \qquad (1d)$$

En général, nous effectuerons les calculs à l'aide de l'équation (1 d), mais les résultats les plus importants seront aussi exprimés en mètres.

2. Longueur de l'arc de chaînette. — 1° Si L est la longueur de l'arc de chaînette on aura

$$dL = \cosh X dX.$$

Alors

$$L_{AM} = \int_{X_A}^{0} dL = \int_{X_A}^{0} \cosh X dX = -\sinh X_A, \qquad (2a)$$

$$L_{MB} = \int_{0}^{X_B} dL = \int_{0}^{X_B} \cosh X dX = \sinh X_B, \qquad (2b)$$

$$L_{AB} = \int_{X_A}^{X_B} dL = \int_{X_A}^{X_B} \cosh X dX = \sinh X_B - \sinh X_A. \qquad (2c)$$

2° Les relations suivantes sont immédiates (fig. 1) :

$$H = Y_B - Y_A = \cosh X_B - \cosh X_A, \qquad (2d)$$

$$-X_A + X_B = D. \qquad (2e)$$

Il résulte des formules (2 c) et (2 d)

$$L^2 - H^2 = 2(-1 + \cosh D) = 4 \sinh^2 \frac{D}{2};$$

c'est-à-dire

$$L^2 = H^2 + 4 \sinh^2 \frac{D}{2}, \qquad (2f)$$

ou

$$l^2 = h^2 + 4a^2 \sinh^2 \frac{d}{2a}. \qquad (2g)$$

L'équation (2 f) est fondamentale pour l'étude de la chaînette ; elle exprime très simplement la longueur du fil en fonction de la différence de niveau H et de la portée D.

3° Si les appuis sont au même niveau, c'est-à-dire si $H = \frac{h}{a} = 0$, les formules précédentes se simplifient

$$\left.\begin{aligned} L &= 2 \sinh \frac{D}{2}; \\ l &= 2a \sinh \frac{d}{2a}. \end{aligned}\right\} \qquad (2i)$$

4° L'équation (2 f) nous permet d'écrire

$$\frac{l^2}{d^2}=\frac{L^2}{D^2}=\frac{H^2}{D^2}+\frac{4}{D^2}\sinh^2\frac{D}{2}=\frac{H^2}{D^2}+\frac{2}{D^2}(-1+\cosh D). \quad (2\,j)$$

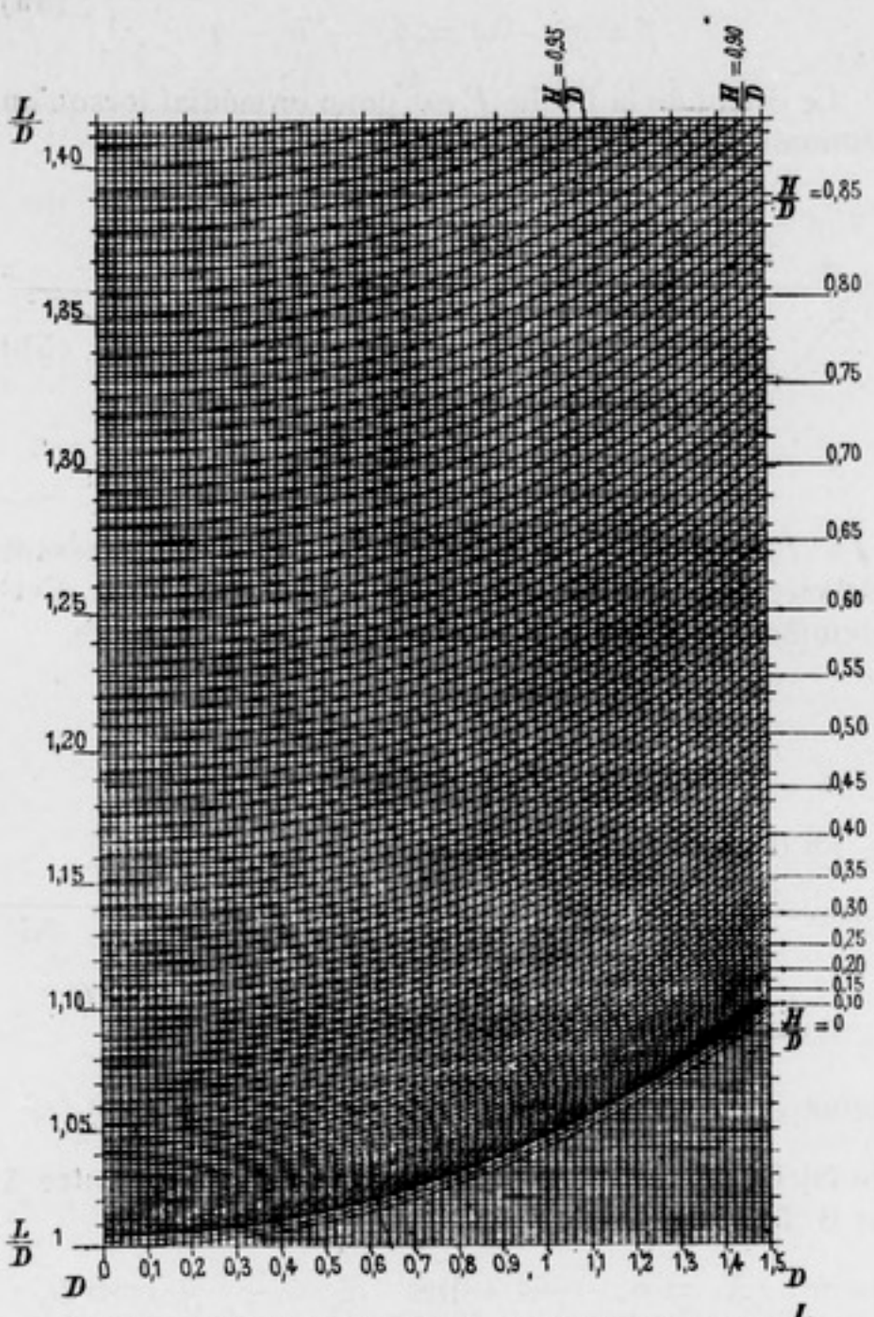


Fig. 2. — Courbes représentant les variations de $\frac{L}{D}$ en fonction de D pour diverses valeurs de $\frac{H}{D}$.

Le rapport $\frac{L}{D}=\frac{l}{d}$ peut donc s'exprimer en fonction de D et de $\frac{H}{D}$ (fig. 2).

3. Généralisation du théorème de Pythagore. — Sur la figure 3 nous avons tracé les deux chaînettes AC et AB liées entre elles par les conditions suivantes :

1° Homogénéité (même paramètre);

2° Même portée D;

3° Pour la première, A et C sont au même niveau; pour la deuxième, A et B présentent une différence de niveau H.

Les équations (2 f) et (2 i) nous permettent d'écrire

$$L_{AB}^2 = L_{AC}^2 + H^2. \quad (3)$$

qui exprime le théorème de Pythagore appliqué au triangle curviligne ABC.

Cette propriété remarquable des chaînettes nous permet d'énoncer le fameux théorème de Pythagore sous une forme bien plus générale qu'on ne le fait d'habitude :

La différence des carrés des longueurs de deux chaînettes homogènes et de même portée, dont l'une a ses deux extrémités au même niveau est une constante, (c'est à-dire ne dépend ni de la portée ni du paramètre) et elle est égale au carré de la différence de niveau de l'autre chaînette.

Si le paramètre des deux chaînettes homogènes AB et AC devient infiniment grand (fil extrêmement tendu)

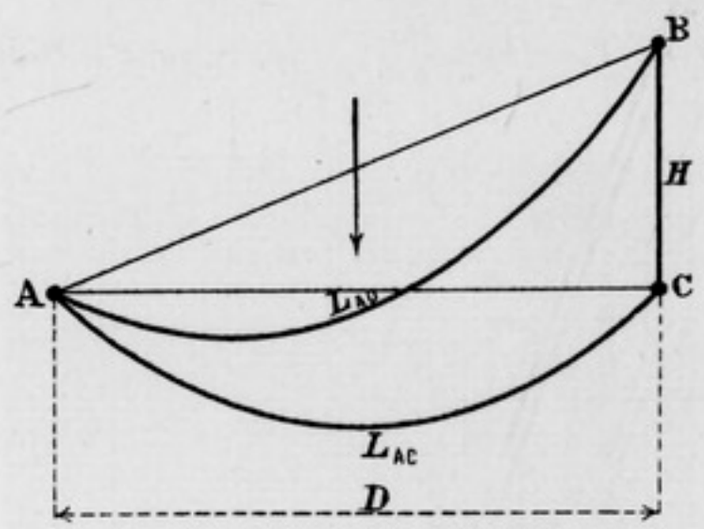


Fig. 3. — Deux arcs de chaînettes auxquels s'applique le théorème de Pythagore.

les deux chaînettes se superposent respectivement aux segments AB et AC. On a alors entre les droites AB, AC et CB

$$\overline{AB}^2 = \overline{AC}^2 + \overline{CB}^2.$$

Le théorème de Pythagore sous la forme élémentaire n'est donc qu'un cas particulier du théorème général que nous avons énoncé.

4. Calcul de X_A, X_B, Y_A, Y_B. — 1° Les équations (2 d) et (2 e) nous permettent de déterminer $\cosh X_A$ et $\cosh X_B$.

Les calculs effectués, on trouve

$$\left.\begin{aligned} Y_A=\cosh X_A&=\frac{1}{2}\left[-H+\frac{1}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\sqrt{H^2+4\sinh^2\frac{D}{2}}\right]\\ &=\frac{1}{2}\left[-H+\frac{L}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\right], \end{aligned}\right\} \quad (4a)$$

$$\left.\begin{aligned} Y_B=\cosh X_B&=\frac{1}{2}\left[+H+\frac{1}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\sqrt{H^2+4\sinh^2\frac{D}{2}}\right]\\ &=\frac{1}{2}\left[+H+\frac{L}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\right]. \end{aligned}\right\} \quad (4b)$$

La détermination de Y_A, Y_B, X_A, X_B est donc facilitée par la connaissance préalable de la longueur L, longueur que nous savons déterminer en vertu du théorème de Pythagore ou par l'emploi de graphiques convenables (fig. 2).

Dans le cas particulier des chaînettes dont les extrémités sont au même niveau ($H = 0$)

$$\cosh X_A = \cosh X_B, \quad \text{c'est-à-dire} \quad \cosh \frac{x_A}{a} = \cosh \frac{x_B}{a},$$

$$-X_A = X_B = \frac{D}{2}, \qquad -x_A = x_B = \frac{d}{2},$$

$$Y_A = Y_B = \cosh \frac{D}{2}, \qquad y_A = y_B = a \cosh \frac{d}{2a}.$$

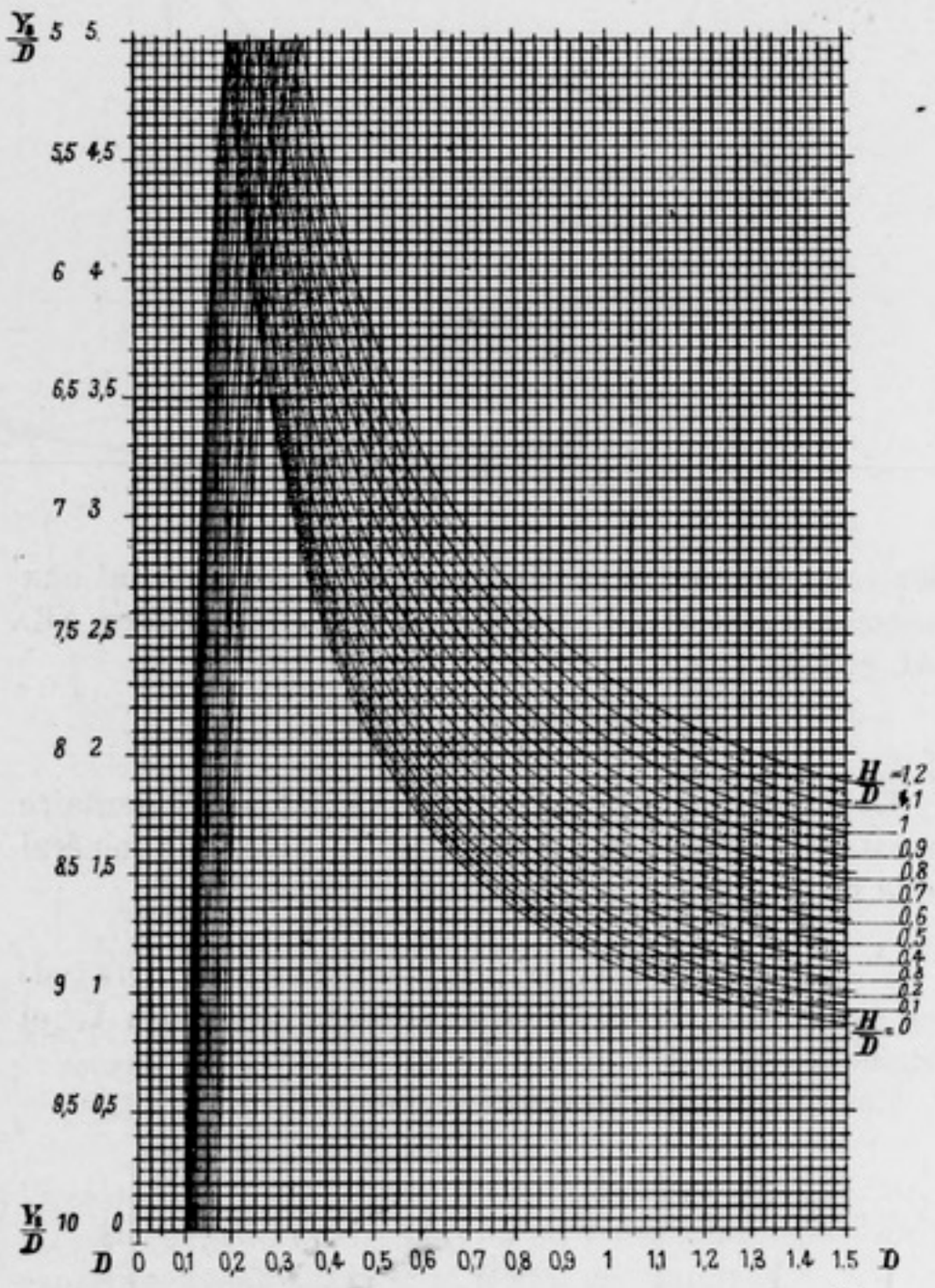


Fig. 4. — Courbes représentant les variations de $\frac{Y_B}{D}$ en fonction de D pour diverses valeurs du rapport $\frac{H}{D}$.

2° Nous verrons par la suite qu'il est utile de pouvoir déterminer graphiquement $\frac{Y_B}{D}$. Tenant compte de la formule (4b) on pourra exprimer $\frac{Y_B}{D}$ en fonction de D pour les différentes valeurs de $\frac{H}{D}$ (fig. 4).

5. Calcul de la flèche F. — 1° *Formule générale.* — En vertu des définitions adoptées on aura (fig. 1)

$$\left.\begin{aligned} F &= Y_A - 1 = Y_B - H - 1. \\ f &= y_A - a = y_B - h - a \end{aligned}\right\} \quad (5a)$$

Le calcul de la flèche F est donc immédiat lorsqu'on connaît Y_A ou Y_B. En général

$$\left.\begin{aligned} F &= \tfrac{1}{2}\left[-H + \frac{L}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\right] - 1, \\ f &= \tfrac{1}{2}\left[-h + \frac{l}{\operatorname{tgh}\frac{d}{2a}}\right] - a. \end{aligned}\right\} \quad (5b)$$

2° *Flèche réelle, nulle, virtuelle.* — Il est intéressant de voir dans quelles conditions la flèche est nulle. Evidemment si $F = 0$, M tombe en A (fig. 1) et alors

$$X_A = 0, \quad Y_A = 1,$$

$$X_B = D, \quad Y_B = \cosh D = 1 + H.$$

La flèche est donc nulle si

$$H = -1 + \cosh D = 2 \sinh^2 \frac{D}{2}. \quad (5c)$$

Il est facile de constater que

pour $X_A < 0$, c'est à-dire $H < -1 + \cosh D$,

la flèche est réelle; le point singulier M tombe entre A et B (fig. 5a);

pour $X_A = 0$, c'est-à-dire $H = -1 + \cosh D$,

la flèche est nulle; le point M tombe sur l'appui inférieur A (fig. 5b);

pour $X_A > 0$, c'est-à-dire $H > -1 + \cosh D$,

la flèche est virtuelle, le point M tombe en dehors de l'arc de chaînette AB, dans le prolongement virtuel de la même chaînette (fig. 5c).

Cette distinction a une grande importance pour l'étude des tensions appliquées au fil en correspondance des appuis A et B.

3° *Cas de la chaînette dont les points d'appui sont au même niveau.* — Si

$$H = 0, \quad Y_A = \cosh X_A = \cosh \frac{D}{2};$$

la flèche prend l'expression très simple

$$\left.\begin{aligned} F &= -1 + \cosh \frac{D}{2} = 2 \sinh^2 \frac{D}{4}, \\ f &= -a + a \cosh \frac{d}{2a} = 2a \sinh^2 \frac{d}{4a}. \end{aligned}\right\} \quad (5d)$$

4° *Détermination pratique de la flèche F.* — Dans ce cas aussi il est préférable de considérer le rapport $\frac{F}{D}$ en écrivant

$$\frac{F}{D} = \frac{Y_B}{D} - \frac{H}{D} - \frac{1}{D}. \qquad (5e)$$

Cette relation est assez commode pour les calculs, car les valeurs de $\frac{Y_B}{D}$ sont déjà connues (fig. 4). Nous

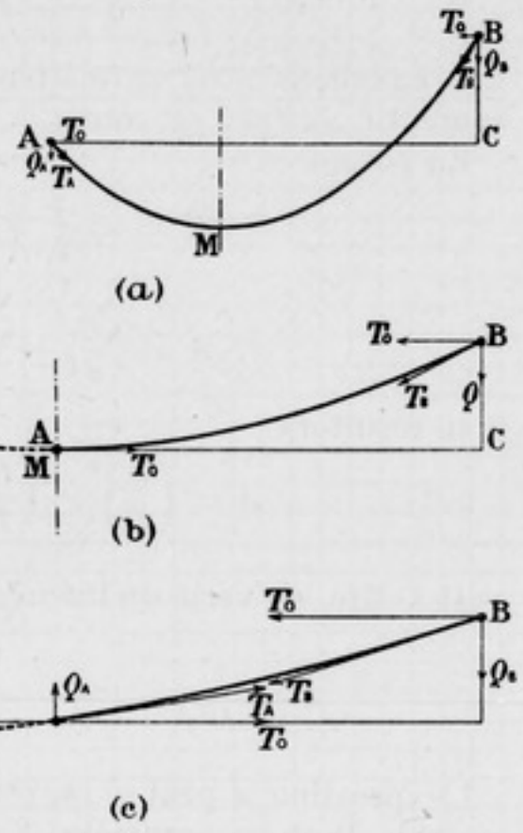


Fig. 5. — Constructions géométriques montrant les variations de la flèche et de la tension : a. $X_A < 0$, $H < -1 + \cosh D$; b. $X_A = 0$, $H = -1 + \cosh D$; c, $X_A > 0$, $H > -1 + \cosh D$.

obtenons donc $\frac{F}{D}$ en fonction de D pour les différentes valeurs de $\frac{H}{D}$ (fig. 6).

6. Tensions dans le fil et efforts sur les appuis. — 1° *Composantes de la tension.* — Nous avons dit que la tension T_P en chaque point P du fil a deux composantes T_0 et Q_P, l'une normale, l'autre parallèle à la direction de la force appliquée (fig. 1). La chaînette jouit de la propriété caractéristique d'avoir dans tous ses points T_0 = constante. T_P étant dirigée suivant la tangente à la courbe, on aura

$$\operatorname{tg} \alpha_P = \left(\frac{dY}{dX}\right)_P = \sinh X_P, \qquad (6a)$$

et

$$T_P = \frac{T_0}{\cos \alpha_P} = T_0 Y_P. \qquad (6b)$$

Mais T_0 est constant, donc la tension totale T_P au point P du fil est représentée par l'ordonnée de ce point dans le système d'axes orthogonaux que nous avons adopté. Autrement dit, le diagramme des tensions est la chaînette elle-même. L'échelle des tensions est (fig. 1)

$$OM = a = T_0.$$

a étant exprimé en mètres et T_0, en kilogrammes par millimètre carré.

La tension est donc maximum au point B (appui

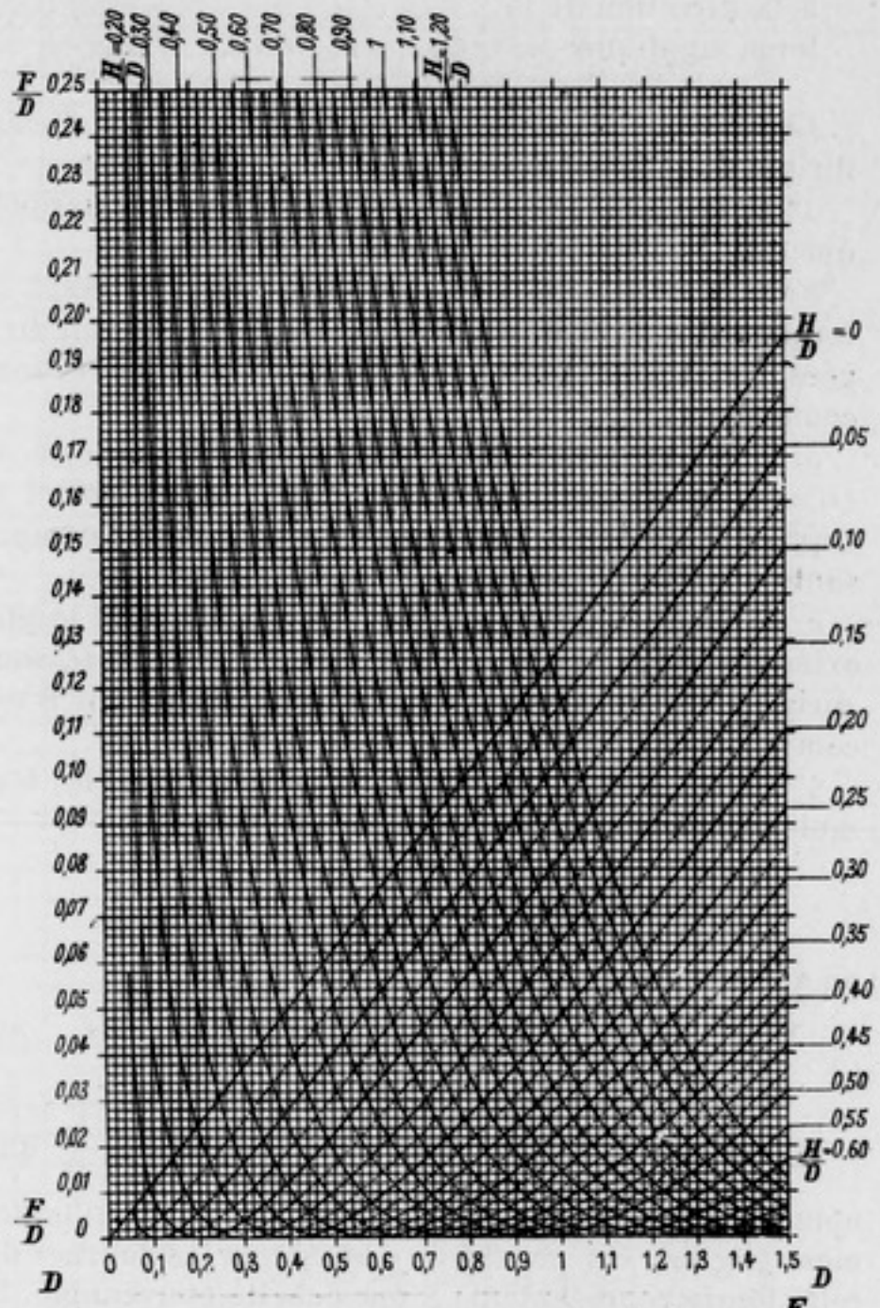


Fig. 6. — Courbes représentant les variations de $\frac{F}{D}$ en fonction de D pour diverses valeurs de $\frac{H}{D}$.

supérieur) ; elle est minimum au point singulier M où elle prend la valeur $T_M = T_0$.

Au signe près, on a encore

$$Q_P = T_0 \operatorname{tg} \alpha_P = T_0 \sinh X_P = T_0 L_{MP} = T_0 \frac{l_{MP}}{a} = \mathfrak{L} l_{MP}. \qquad (6c)$$

2° *Tension du fil aux appuis en kilogrammes par millimètre carré.* — *a*) Appui supérieur B.

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Tension totale.....} & T_B = T_0 \cosh X_B = T_0 Y_B, \\ \text{Composante normale à la direction de la force appliquée....} & T_0 = \quad = T_0, \\ \text{Composante parallèle à la direction de la force appliquée....} & Q_B = T_0 \sinh X_B = T_0 L_{MB}, \end{array}\right\} \qquad (6d)$$

b, Appui inférieur A.

$$\left.\begin{aligned} &\text{Tension totale.....} && T_A = T_0 \cosh X_A = T_0 Y_A, \\ &\text{Composante normale à la direction de la force appliquée....} && T_0 = \qquad\quad = T_0, \\ &\text{Composante parallèle à la direction de la force appliquée...} && Q_A = -T_0 \sinh X_A = T_0 L_{MA}. \end{aligned}\right\} \quad (6e)$$

La tension Q est considérée positive lorsqu'elle est dirigée dans le même sens que la force appliquée.

3° *Efforts sur les appuis.* — Il est utile de remarquer que (fig. 5) :

a) Si la flèche est réelle, c'est-à-dire si le point M tombe entre A et B, les deux forces Q_A et Q_B sont dirigées dans le même sens; on dira que les supports sont comprimés;

b) Si la flèche est nulle, c'est-à-dire si M tombe en A, $Q_A = 0$, le support supérieur B est comprimé et le support inférieur A est soumis seulement à la composante normale (constante) T_0;

c) Si la flèche est virtuelle, c'est-à-dire si M tombe extérieurement à l'arc AB de la chaînette, Q_A et Q_B sont dirigées en sens contraire : le support supérieur B est comprimé et le support inférieur A est soulevé.

4° *Calcul de* T_B. — Etant donné d'après la formule (6d) que

$$\frac{T_B}{T_0} = Y_B,$$

on aura

$$T_B = 2d \frac{Y_B}{D}. \quad (6f)$$

T_B est donc proportionnel à l'expression $\frac{Y_B}{D}$ que nous savons calculer analytiquement ou graphiquement (fig. 4). On pourra dire aussi que les courbes de cette figure représentent, à une échelle convenable, le diagramme des tensions maxima T_B. Cette constatation est très importante car la détermination immédiate de T_B est essentielle si l'on veut s'assurer de suite de la stabilité du fil.

Les données des courbes de la figure 4 sont absolues et universelles; elles sont applicables quels que soient le fil, la portée, la différence de niveau et la charge.

7. Tension moyenne τ. — On aura

$$\tau = \frac{1}{X_B - X_A} \int_{X_A}^{X_B} T\,dX = \frac{T_0}{D} \int_{X_A}^{X_B} Y\,dX = T_0 \frac{L}{D} = T_0 \frac{l}{d}. \quad (7)$$

Cette valeur de τ est l'ordonnée moyenne du diagramme des tensions dont nous avons parlé précédemment (paragraphe 6).

8. Allongement et longueur au repos. — 1° Soient λ la longueur au repos, c'est-à-dire la longueur du fil lorsqu'il n'est sollicité par aucune tension, et E le coefficient d'élasticité, en kilogrammes par millimètre carré du corps constituant le fil. On aura

$$\lambda = l\left(1 - \frac{T_0}{E}\frac{l}{d}\right), \quad (8a)$$

ou bien, sans erreur appréciable

$$l = \lambda\left(1 + \frac{T_0}{E}\frac{\lambda}{d}\right). \quad (8b)$$

Ces équations nous permettent de calculer λ si l'on connaît l, ou l si λ est connu.

En posant

$$K = 2\lambda \frac{\delta}{E}\left(\frac{\lambda}{d}\right)^2, \quad (8c)$$

$$A = \left(\frac{\lambda}{d}\right)^2 - \left(\frac{h}{d}\right)^2, \quad (8d)$$

il en résultera

$$A = \left(\frac{L}{D}\right)^2 - \left(\frac{H}{D}\right)^2 - \frac{K}{D},$$

c'est-à-dire, en vertu du théorème de Pythagore

$$A = \frac{2}{D^2}(-1 + \cosh D) - \frac{K}{D}. \quad (8e)$$

L'expression A peut se représenter en fonction de la variable D et du paramètre K (fig. 7).

Les données de cette figure ne sont à utiliser que pour des portées relativement grandes ($D > 0{,}4$); pour des portées plus petites, il faudra établir de nouvelles courbes à une échelle convenable.

2° Les courbes de la figure 7 permettent donc de déterminer graphiquement la portée absolue D qui correspond à des valeurs connues de $\frac{h}{d}$ et de $\frac{\lambda}{d}$. Dans ce cas on peut, en effet, calculer de suite K et A par les formules (8c) et (8d); sur la figure 7 on déterminera D qui correspond à ces valeurs de A et de K.

9. Dilatation due aux variations de température. — Si à la température θ_0 correspond la longueur au repos λ_0, à la température θ_1 correspondra la longueur au repos λ_1, telle que

$$\lambda_1 = \lambda_0 [1 + \alpha(\theta_1 - \theta_0)], \quad (9a)$$

où α est le coefficient de dilatation linéaire du corps qui constitue le fil.

10. Les différents problèmes relatifs a la chainette. — 1° *Données du problème.* — Les éléments connus sont la portée vraie d, en mètres; la différence de niveau vraie h, en mètres; la charge totale (poids propre et surcharge) δ, en kilogrammes par millimètre carré; le coefficient d'élasticité E, en kilogrammes par milli-

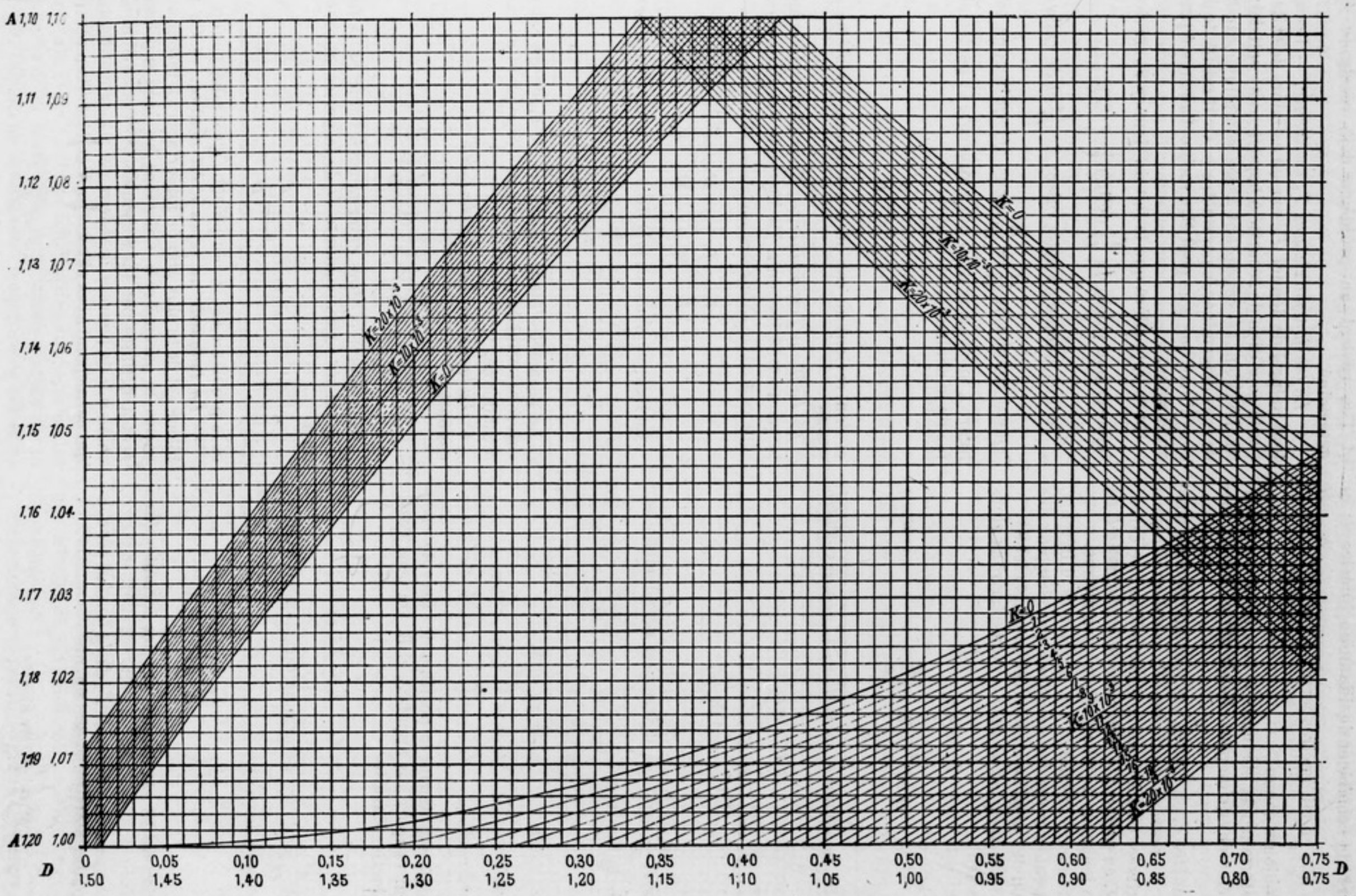


Fig. 7. — Courbes représentant les variations de $A = \frac{2}{D^2}(-1 + \cosh D) - \frac{K}{D}$ en fonction de D pour diverses valeurs de K.

mètre carré ; le coefficient de dilatation linéaire α ; la section du fil s en millimètres carrés. Le rapport $\frac{h}{d} = \frac{H}{D}$ est donc toujours connu.

Pour déterminer la chaînette il faut encore préciser un autre élément qu'on peut choisir parmi les six suivants :

Le paramètre a, en mètres ; la tension normale constante T_0 ; la tension maximum T_B, ces deux tensions étant exprimées en kilogrammes par millimètre carré ; la flèche f, en mètres ; la longueur de la chaînette l, en mètres ; la longueur du fil au repos λ, en mètres.

On doit donc considérer six problèmes différents, dont on peut trouver les solutions par l'emploi des formules ou des diagrammes précédemment établis.

2° *Le paramètre a est donné.* — Nous écrirons alors successivement

$$T_0 = a\delta,$$

$$H = \frac{h}{a}, \quad D = \frac{d}{a},$$

$$L = \sqrt{H^2 + 4\sinh^2\frac{D}{2}} = \sqrt{H^2 + 2(-1+\cosh D)},$$

$$l = aL,$$

$$Y_B = \frac{1}{2}\left(H + \frac{L}{\operatorname{tgh}\frac{D}{2}}\right),$$

Le rapport $\frac{Y_B}{D}$ peut se déterminer directement par l'emploi de la figure 4.

$$y_A = a Y_B,$$

$$Y_A = Y_B - H \qquad y_A = y_B - h,$$

$$X_B = \operatorname{arg\,cosh} Y_B \qquad x_B = a X_B \quad \Big| \; X_B > 0,$$

$$X_A = \operatorname{arg\,cosh} Y_A \qquad x_A = a X_A \quad \Big| \; -x_A + x_B = d.$$

On connaît maintenant la position des axes de coordonnées par rapport aux appuis A et B. On peut dessiner la chaînette. Ensuite

$$F = Y_A - 1, \quad f = aF;$$

Le rapport $\frac{F}{D}$ peut être déterminé directement avec les courbes de la figure 6 et

$$\lambda = l\left(1 - \frac{T_0}{E}\frac{l}{d}\right).$$

La tension du fil est donnée par les formules (6 d) et (6 e).

3° *La composante constante T_0 de la tension est donnée.* — On aura alors immédiatement

$$a = \frac{T_0}{\delta}, \text{ en mètres,}$$

et l'on revient au problème déjà résolu, a étant déterminé.

4° *La tension maximum T_B est donnée.* — Il semble tout naturel de donner T_B, car on est alors de suite fixé sur la condition de sécurité à laquelle doit satisfaire le fil. Le calcul est cependant assez compliqué car nous devons déterminer le paramètre a. Or il est facile de se convaincre que a ne peut être racine d'aucune équation algébrique.

On se rappellera que le fait de donner T_B revient à imposer une valeur de $\frac{Y_B}{D}$ définie par (6 f).

Tenant compte de cette valeur de $\frac{Y_B}{D}$ et de celle également connue de $\frac{H}{D} = \frac{h}{d}$, nous déterminerons sur la figure 4 une valeur de D qui représente la portée absolue de la chaînette. Mais alors

$$a = \frac{d}{D}$$

et l'on revient au cas où a est donné, problème déjà résolu.

5° *La flèche f est donnée.* — Nous devons déterminer le paramètre inconnu. La méthode graphique est la plus commode. Nous connaissons, en effet

$$\frac{F}{D} = \frac{f}{d} \quad \text{et} \quad \frac{H}{D} = \frac{h}{d}.$$

La figure 6 nous permet de déterminer D et alors

$$a = \frac{d}{D}.$$

Le paramètre étant déterminé, le mode de calcul à suivre est celui du paragraphe correspondant au cas où a est donné.

6° *La longueur l de la chaînette est donnée.* — On connaît

$$\frac{L}{D} = \frac{l}{d} \quad \text{et} \quad \frac{H}{D} = \frac{h}{d}.$$

Nous pouvons alors déterminer à l'aide de la figure 2 la valeur correspondante D de la portée absolue, et on a

$$a = \frac{d}{D}$$

et le problème est résolu puisque a est ainsi connu.

7° *La longueur au repos λ est donnée.* — Ce problème est de la plus grande importance. L'inconnue est encore le paramètre a. Calculons les deux expressions K et A définies par les formules (8 c) et (8 d) et cherchons sur la figure 7 la valeur de la portée absolue D qui correspond à ces valeurs de K et de A. Il en résultera

$$a = \frac{d}{D};$$

ce problème est ainsi de nouveau ramené au cas où a est connu.

11. Profil de la chaînette. — Dans n'importe quel cas pratique tous les éléments de la chaînette peuvent se déterminer d'après les procédés du paragraphe précédent. Il est intéressant de pouvoir dessiner rapidement l'arc de chaînette qui nous intéresse.

Supposons que la chaînette tracée sur la figure 1 soit une chaînette « type », c'est-à-dire caractérisée par $a = 1$.

Le calcul nous ayant permis de déterminer X_A, X_B, ou Y_A, Y_B, la position des points A et B sur cette chaînette est déterminée. L'arc AMB représentera, à une échelle convenable, la chaînette qui nous intéresse.

En général, les échelles des abscisses et des ordonnées seront différentes ; elles seront définies comme il suit : échelle des différences de niveau (ordonnées) $CB = h$, en mètres ou $OM = a$, en mètres ; échelle des portées (abscisses) $AC = d$, en mètres.

Par une simple loi de similitude, on pourra alors dessiner le profil AMB de la chaînette dans des autres échelles quelconques, par exemple, dans celles qu'on a choisies pour le profil longitudinal de la ligne.

Le procédé que nous venons de présenter ne peut s'appliquer que si l'on dispose d'une chaînette « type » dessinée avec précision. Sur la figure 8, nous avons représenté quatre chaînettes « types » ($a = 1$) à des échelles différentes.

Il suffit de porter X_A et X_B à l'échelle des abscisses, ou Y_A et Y_B à celle des ordonnées, pour déterminer sur l'une quelconque de ces chaînettes « types » l'arc AB qui nous intéresse.

12. Résolution graphique des problèmes pratiques — 1° Nous savons déterminer, d'après ce qui précède, dans n'importe quel cas pratique, la valeur du paramètre a de la chaînette.

Ce paramètre étant connu on peut substituer au calcul algébrique un procédé entièrement graphique. Le problème est en effet résolu si l'on arrive à préciser sur une des chaînettes « types » de la figure 8 les deux

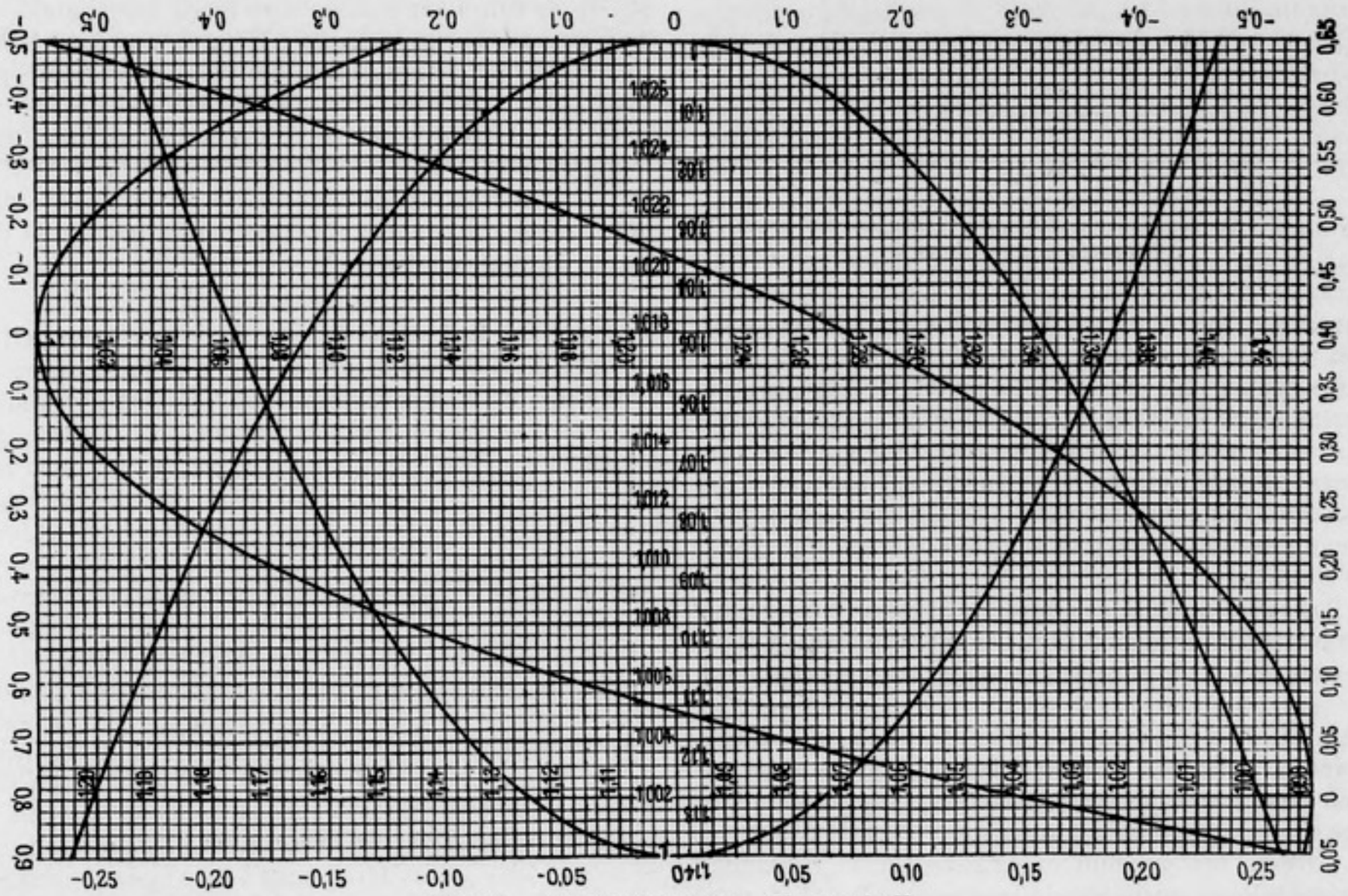


Fig. 8. — Chaînette « type », $Y = \cosh X$.

points A et B qui représentent les appuis, lorsqu'on connaît la portée D et la différence de niveau H.

Construisons sur un papier transparent les deux segments orthogonaux AC et CB, tels que (fig. 9) AC représente D et CB, H aux échelles des abscisses et des ordonnées de la courbe que nous avons choisie sur la figure 8. Déplaçons cette feuille transparente sur cette figure jusqu'à ce que sa position soit telle que les points A et B se trouvent simultanément sur la chaînette considérée et que le segment CB soit parallèle à l'axe des Y. Cette position étant trouvée, l'arc AB représente, aux échelles de la courbe choisie, l'arc de chaînette qui nous intéresse.

Pour assurer le parallélisme de CB avec l'axe des Y,

il suffit de tracer la figure 9 sur papier quadrillé; il est alors facile d'assurer ce parallélisme à n'importe quel moment du déplacement de la feuille (fig 9) sur la figure 8.

A et B étant trouvés, le dessin nous donne de suite : X_A, X_B, Y_A, Y_B, $T_B = T_0\, Y_B$, $T_A = T_0\, Y_A$, et F.

Nous appliquons couramment cette méthode avec une précision remarquable.

La planche sur laquelle sont tracées les courbes de la figure 8 a les dimensions 70 cm × 110 cm.

2° Nous voyons enfin bien clairement quel est

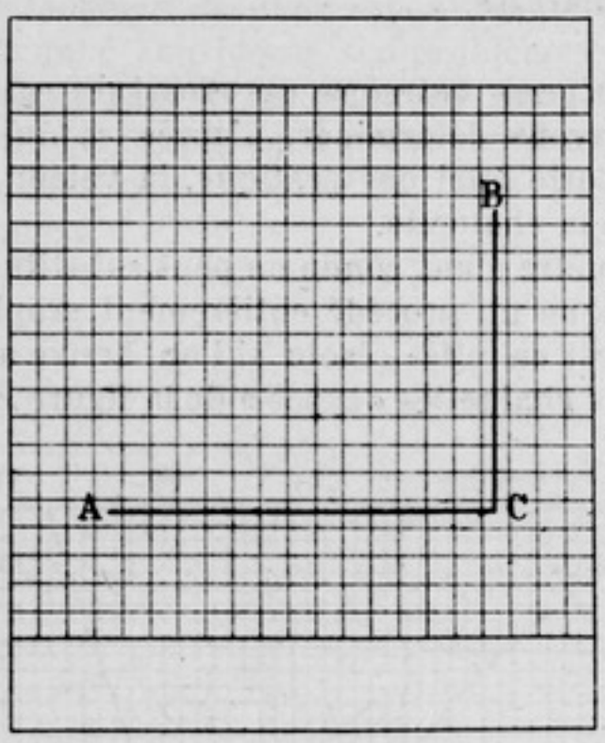


Fig. 9. — Représentation du papier transparent quadrillé à déplacer sur la figure 8.

l'avantage obtenu par l'introduction des mesures absolues dans le calcul des chaînettes.

Opérer sur les mesures absolues signifie se rapporter à une seule chaînette, chaînette « type » dont le paramètre est égal à 1. Toutes celles que nous devrons considérer en pratique ne seront qu'une simple projection d'un arc convenable de la chaînette type, projection qu'on obtiendra par simple application de la loi de similitude.

Par l'introduction des mesures absolues tous les diagrammes sont très simplifiés, car le paramètre n'y apparaît pas, et sont applicables à n'importe quelle chaînette.

II. Etude de la chaînette appliquée aux conducteurs des lignes aériennes. — 1. Hypothèses. — Pour chaque chaînette que nous avons à étudier nous supposerons toujours connues la portée et la différence de niveau topographique, c'est-à-dire la projection horizontale et verticale du segment AB qui a pour extrémités les points fixes A et B, appuis de la chaînette. Le relevé tachéométrique de la ligne a précisément pour but la détermination de cette portée et de cette différence de niveau.

Examinons maintenant le système des forces qui sollicitent le fil.

2. Forces qui sollicitent le fil. — 1° *Forces verticales.* — *a*) Poids propre. — Si p est le poids du fil en kilogrammes par mètre et s est sa section en millimètres carrés,

$$\delta' = \frac{p}{s}\ \text{kg : m : mm}^2$$

représente le poids d'un mètre de fil rapporté à l'unité de section, c'est-à-dire le poids spécifique du corps constituant le fil en kilogrammes par centimètre cube.

Si le fil est seulement soumis à son propre poids, dans toutes les formules du chapitre précédent on devra prendre pour δ la valeur δ' qui vient d'être définie.

b) Surcharge éventuelle de glace. — Si on suppose le fil recouvert d'un manchon de glace d'épaisseur uniforme, dont le poids est de g, le poids spécifique apparent devient

$$\delta'' = \frac{p+g}{s}.$$

Dans les formules des paragraphes qui précèdent il faudra prendre pour δ cette valeur δ''.

2° *Force horizontale.* — Cette force est celle due au vent. Nous supposons que la force exercée par le vent puisse se concevoir comme une force horizontale, de direction normale à la droite AB (fig. 1), uniformément répartie le long du fil, égale à V, en kilogrammes par mètre. En pratique, l'action du vent s'exprime en kilogrammes par mètre carré de la surface apparente longitudinale.

3° *Force totale r.* — Pour déterminer l'effet total appliqué au fil il suffit de chercher la résultante des forces appliquées (fig. 10)

$$r = \sqrt{(p+g)^2 + V^2}.$$

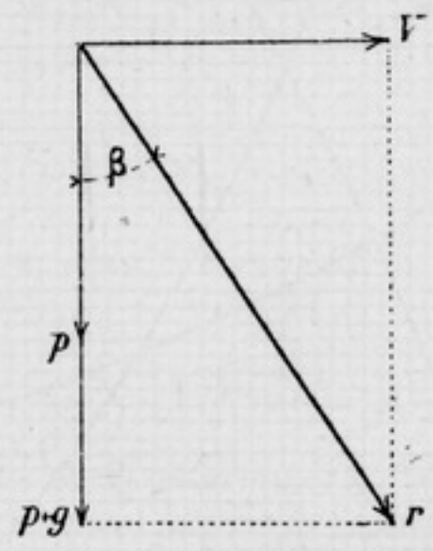


Fig. 10. — Composition des efforts agissant sur le fil.

La nouvelle valeur de δ sera alors

$$\delta''' = \frac{r}{s}$$

qu'on devra substituer à δ dans les formules des paragraphes qui précèdent.

On remarquera que cette résultante r forme avec la verticale un angle β défini par

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{V}{p+g}.$$

3. Influence du vent. Portée et différence de niveau vraies. — 1° *Déplacement du plan de la chaînette.* — Si les forces sont verticales (poids propre et surcharge éventuelle de glace), la chaînette est tout entière dans un plan vertical qui contient la droite AB. La portée d et la différence de niveau h sont représentées par les valeurs topographiques correspondantes d_0 et h_0. Mais si nous ajoutons aux forces verticales p ou $p+g$, l'effort horizontal V dû au vent, le plan de chaînette tourne d'un angle β autour de la droite AB (fig. 10), car ce plan doit rester parallèle à la direction de la force appliquée r. La portée d et la différence de niveau h ne sont plus égales aux valeurs topographiques d_0 et h_0, mais elles sont définies par

$$h = h_0 \cos \beta,$$

$$d = d_0 \sqrt{1 + \frac{h_0^2}{d_0^2} \sin^2 \beta}.$$

2° *Effets du vent.* — Ces effets sont au nombre de quatre : surcharge du fil qui, du poids $p+g$, passe au poids r par mètre ; rotation du plan de la chaînette de l'angle β ; diminution de la différence de niveau de la valeur topographique h_0 à celle vraie $h = h_0 \cos \beta$; augmentation de la portée de la valeur topographique d_0 à celle vraie

$$d = d_0 \sqrt{1 + \frac{h_0^2}{d_0^2} \sin^2 \beta}.$$

Le premier et le dernier effets tendent à augmenter la sollicitation du fil ; le troisième, à la diminuer. Comme en pratique la diminution de h est bien plus importante que l'augmentation de d, nous dirons que, par rapport à la sollicitation du fil, l'action du vent est partiellement neutralisée par la déformation de la chaînette. Autrement dit, la considération de h et d vraies conduit à des efforts plus petits que ceux qu'on aurait si l'on considérait toujours les valeurs topographiques h_0 et d_0.

On peut remarquer encore que pour un vent progressivement croissant, h tend vers sa valeur minimum, zéro, d, vers sa valeur maximum AB. *A un vent infiniment fort correspondent des chaînettes ayant toutes des points d'appui au même niveau.*

Le point singulier M (fig. 1) se déplace par l'effet du vent et tend à se porter vers le milieu du fil. La flèche augmente alors avec l'augmentation du vent si elle est réelle, diminue d'abord jusqu'à zéro si elle est virtuelle, et augmente ensuite dans le domaine des flèches réelles.

3° *Corrections à apporter aux résultats théoriques pour tenir compte des réalités physiques.* — Jusqu'ici, nous avons supposé « un vent théorique » qui agit avec une force horizontale, normale à la droite AB et uniformément répartie le long du fil. Cette dernière condition est bien loin d'être réalisée en pratique, surtout pour les portées assez longues. A cause de sa variabilité l'action du vent n'est pas susceptible d'un calcul précis. Ce que nous avons dit doit être considéré comme l'étude d'un cas limite. Les formules établies seraient tout à fait applicables dans le cas où le fil (fixé en deux points A et B) serait immergé dans un courant d'eau continu, par exemple un canal ou un fleuve, pourvu que le segment AB soit normal à la direction du courant.

Il faut encore remarquer que le vent se manifeste par rafales successives. Le plan de la chaînette sera soumis à des oscillations autour de la droite AB. La chaînette se déformera progressivement dans son plan à chaque quart d'oscillation. Le point M s'éloignera et se rapprochera du point A, selon que le plan de la chaînette s'éloigne ou se rapproche du plan vertical.

Si le vent n'agit pas uniformément sur le fil, la chaînette se déforme différemment d'un élément à l'autre ; il en résultera une courbe qui n'est susceptible d'aucun examen analytique.

De plus, la force n'étant en réalité ni uniforme, ni simultanée le long du fil, il doit se manifester un mouvement ondulatoire le long du fil, c'est-à-dire une vibration plus ou moins régulière de ce même fil.

Tous ces phénomènes (que nous considérerons comme secondaires, car on ne peut les évaluer) ont une grande importance. Leur effet est des plus préjudiciables sur la durée du fil, si l'on ne prend des précautions spéciales (limiteurs d'oscillations, etc.).

4° *Conclusions.* — Les considérations qui nous ont porté à examiner les variations de la portée et de la différence de niveau provoquée par le vent sont exactes si l'on considère le vent théorique. En pratique, cependant, les conditions sont tellement différentes qu'on peut douter de la nécessité d'apporter ces variations aux valeurs topographiques de d et de h. Voilà pourquoi les ingénieurs appliquent souvent au calcul de la chaînettes les valeurs topographiques d_0 et h_0, même sous l'action du vent. De la sorte, on arrive à des tensions du fil plus grandes ; ce calcul plus simple est aussi plus prudent.

4. Calcul de la chainette. — La force étant donnée, on connaît l'angle β (fig. 10) et on peut calculer les valeurs vraies de la portée et de la différence de niveau. d et h étant connus, le problème pratique n'est qu'un des six problèmes déjà résolus au paragraphe 10. On pourra effectuer le calcul soit en prenant pour h et d les valeurs vraies, soit en les considérant constantes même sous l'action du vent.

Le choix entre les deux systèmes sera confié au jugement de l'ingénieur, selon l'importance plus ou moins grande qu'il donnera à la question. En ce qui nous concerne, nous donnons notre préférence au second procédé (h et d constantes). Le plus grand coefficient de sécurité qu'on obtient de la sorte nous semble justifié par la présence de ces phénomènes perturbateurs dont il n'est pas possible de tenir compte (vibrations, oscillations du fil, etc.).

III. **Changement d'état de la chaînette.** — 1. Position de la question. — Le fil étant tendu pour des valeurs données de la température et de la charge, dans quelles conditions se trouvera-t-il lorsque la température et la charge varieront? Par exemple, si le fil a été posé en été, quelle sera sa tension en hiver, en raison de la surcharge due à la glace et au vent et de la diminution de la température?

Les observations suivantes sont intuitives :

1° Si le fil était inextensible mécaniquement et non dilatable thermiquement, sa longueur et sa flèche seraient constantes dans tous les états possibles, c'est-à-dire le paramètre a de la chaînette resterait toujours égal à sa valeur de pose (pourvu que h et d ne varient pas). Alors les tensions seraient simplement proportionnelles à la charge δ et le problème ne mériterait aucune attention particulière. En doublant la charge, par exemple, toutes les tensions en seraient doublées;

2° Le fil, au contraire, présente en pratique une dilatation due à son élasticité et aux variations de température. Sa longueur est donc une fonction de la charge δ et de la température t. A des états différents correspondent des longueurs et des paramètres différents. *La chaînette change de forme par suite des variations de la température et de la charge.* Les tensions ne seront plus proportionnelles à la charge, mais elles dépendront de celle-ci selon une fonction très compliquée et non algébrique.

3° Il y a un seul élément qui ne varie pas lorsque la chaînette change d'état ; c'est la longueur au repos λ rapportée à une température donnée, par exemple 0°C. Rappelons ici que la longueur au repos est la longueur du fil lorsqu'il n'est soumis à aucun effort mécanique, c'est-à-dire, en pratique, la longueur du fil lorsqu'il se développe du rouleau. Cette longueur est uniquement fonction de la température.

4° Si la force est toujours verticale (ou si nous négligeons les variations de d et de h par effet du vent) les deux éléments, a, portée, et h, différence de niveau, restent aussi constants pour un état quelconque de la chaînette.

2. Résolution générale du changement d'état. — Si l'on suppose avoir tendu la chaînette à l'état initial (condition de pose), défini par le paramètre a_0, la portée d_0, la différence de niveau h_0, la charge δ_0 rapportée à l'unité de longueur et de section, la température θ_0, il est possible de déterminer la longueur au repos λ_0 de la chaînette qui correspond à cet état initial, soit

$$\lambda_0 = l_0 \left(1 - \frac{a_0 \delta_0}{E} \frac{l_0}{d_0}\right).$$

Le cas plus général de changement d'état est alors le suivant :

La température prend la valeur θ_1 avec une variation $\theta_1 - \theta_0$ par rapport à celle de pose ; la nouvelle longueur au repos λ_1 peut alors de suite être déterminée,

$$\lambda_1 = \lambda_0 [1 + \alpha (\theta_1 - \theta_0)];$$

La charge varie de δ_0 à δ_1 ;

La portée et la différence de niveau varient par l'effet du vent (éventuel) et prennent les nouvelles valeurs d_1 et h_1 que nous savons déterminer.

Etant donné la charge δ_1, la portée d_1 et la différence de niveau h_1, il s'agit de déterminer une chaînette telle que, dans ces conditions, sa longueur au repos soit précisément λ_1.

Tous les calculs relatifs aux changements d'état rentrent donc dans la catégorie déjà examinée à la fin du paragraphe 10-I.

(*A suivre.*)

Jean Silva.
Ingénieur aux Services techniques de la Società idroelettrica Piemonte, à Turin.

Revues, analyses et informations

Le schéma équivalent du transformateur à trois enroulements (1).

1. Introduction. — Le schéma équivalent, dit « unipolaire », du transformateur à trois enroulements dont il est question dans cet article est constitué par trois circuits d'impédance déterminée ayant une extrémité commune. L'auteur se propose de démontrer, par des considérations d'ordre physique, plutôt que par des développements mathématiques, que ce mode de représentation correspond bien aux phénomènes mis en jeu si un certain nombre de conditions sont remplies : en précisant ces conditions, il est conduit à montrer la valeur que l'on peut attribuer au schéma équivalent.

2. Répartition des forces électromotrices entre les enroulements dans un transformateur a deux enroulements. — Dans une première approximation, il n'est pas tenu compte de la chute de tension due à la résistance des enroulements, ni du courant magnétisant. De plus, le rapport de transformation à vide est supposé égal à l'unité.

Si l'on considère deux bobinages concentriques, dans le fonctionnement en court-circuit, suivant que l'enroulement sous tension constitue le bobinage interne ou externe, le flux qui passe dans l'espace libre entre les deux bobinages est le flux total émanant du noyau ou de la culasse ; le courant de court-circuit atteint une valeur telle que la force magnétomotrice à laquelle il donne lieu compense la chute de potentiel magnétique due au flux de dispersion; bien que ce raisonnement ne s'applique en toute rigueur que si le bobinage est d'une épaisseur infiniment petite, il est possible, pratiquement, de le considérer valable si chaque bobinage ne comporte qu'une couche de conducteurs. Dans le cas de bobinages à plusieurs couches, le flux de dispersion est plus grand que celui qui correspond à la tension appliquée aux bornes du primaire et il faut en conclure qu'il

(1) Friedrich Ost. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 10 novembre 1929, t. xlvii, p. 977-985, 6 000 mots, 14 figures.

existe dans la culasse ou dans le noyau un flux de compensation qui est de sens opposé au flux principal, soit un flux négatif.

Supposons que la tension d'alimentation soit appliquée aux bornes de l'enroulement externe et que le secondaire soit formé de deux couches (fig. 1). Si X est la force électromotrice induite par le flux traversant le noyau du transformateur dans un enroulement autour de ce noyau de fer, et

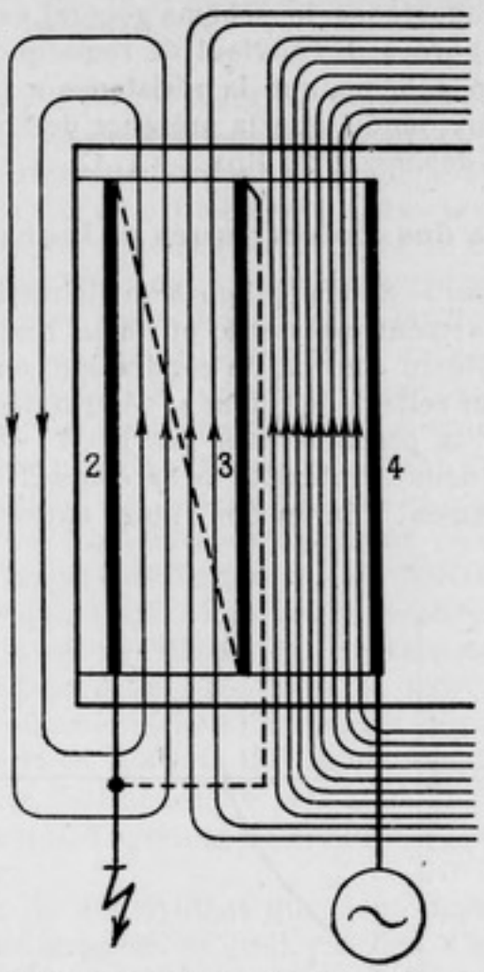


Fig. 1. Schéma de la répartition du flux de dispersion à travers les diverses couches des enroulements d'un transformateur à bobinages concentriques.

correspondant à la tension appliquée aux bornes de cet enroulement, celle qui prend naissance dans la couche du secondaire immédiatement voisine du noyau est

$$E_2 = 0{,}5\ X.$$

Pour le calcul de la force électromotrice E_3 induite dans la deuxième couche du secondaire, il faut tenir compte de ce que les ampères-tours de cette deuxième couche contribuent, comme ceux du primaire, à la création du flux qui passe entre les couches 2 et 3 ; ce flux de dispersion est une fonction de la distance des deux enroulements, de la longueur des bobines et des rayons des spires. On peut donc écrire

$$E_3 = 0{,}5\ X + 0{,}5\ b\ (0{,}5\ I_3 + I_4),$$

et si l'on admet que

$$I_4 = -\ I_3 = I_1,$$

on a

$$E_3 = 0{,}5\ X + 0{,}25\ b I_1,$$

où b est un facteur proportionnel à la distance des deux couches et au rayon moyen des spires. Enfin, le même raisonnement appliqué au primaire conduit à l'expression suivante de la force électromotrice E_4 induite dans le primaire et égale à la tension E appliquée à ses bornes, mais de signe contraire,

$$E_4 = -\ E = X + 0{,}5\ bI + cI.$$

Les expressions de E_2, E_3 et E_4 permettent d'étudier la répartition des flux dans tous les cas qui peuvent être envisagés. En particulier, si le secondaire est en court-circuit, la somme de E_2 et E_3 est nulle et l'on a

$$X = -\ 0{,}25\ bI,$$

et

$$E_4 = -\ 0{,}25\ bI + 0{,}5\ bI + cI,$$

le premier terme du second membre correspond au flux utile dans le fer, le deuxième terme, au flux entre 2 et 3 et le dernier terme, à celui entre 3 et 4.

3. Application au transfomateur a trois enroulements. — Supposons le transformateur représenté schématiquement sur la figure 1 avec un troisième enroulement à même le noyau ; s'il est à circuit ouvert, le secondaire étant en court-circuit, la tension aux bornes de ce troisième enroulement est X, soit

$$X = -\ 0{,}25\ bI.$$

Si le secondaire est ouvert, la tension aux bornes du troisième enroulement est égale à la force contre-électromotrice E_4 induite dans le primaire. On constate donc que si la charge des enroulements à plusieurs couches augmente, la tension aux bornes du troisième enroulement diminue, s'annule et devient négative pour le fonctionnement en court-circuit. Cette conclusion a une très grande importance dans les considérations qui suivent par son influence sur la représentation schématique du transformateur à trois enroulements.

4. Principe du schéma équivalent. — 1° *Cas du court-circuit.* — Dans ce cas, on peut négliger les chutes de tension dans les enroulements, dues aux résistances, et considérer toutes ces chutes de tension comme étant d'origine inductive, ce qui permettra de représenter ces chutes de tension par des inductances. On doit remarquer, de plus, que la répartition de ces chutes de tension entre les enroulements d'un transformateur à deux enroulements n'est pas possible, les éléments des problèmes étant en nombre insuffisant pour la détermination de cette répartition. Dans le transformateur à trois enroulements, au contraire, il y a trois termes à considérer, trois tensions, ou chutes de tension, la somme de deux termes étant toujours égale au troisième ; si l'on affecte des indices 1, 2 et 3 les tensions relatives à chacun des trois enroulements on peut écrire

$$e_{k1} + e_{k2} = e_{k12},$$
$$e_{k2} + e_{k3} = e_{k23},$$
$$e_{k3} + e_{k1} = e_{k31}.$$

En remarquant que l'énergie fournie à l'un des enroulements se répartit entre les deux autres enroulements, ou que la somme des énergies fournies à deux des enroulements est restituée par le troisième enroulement, on conclut que les trois tensions e_{k1}, e_{k2} et e_{k3} peuvent être représentées par un schéma unipolaire formé de trois inductances en étoile (fig. 2).

Si l'on applique ce mode de représentation au transformateur dont le schéma est donné sur la figure 1, et qui comporte, outre les couches 2 et 3 formant un enroulement et la couche 4, un troisième enroulement, dit enroulement 1, à même le noyau, on a

$$e_{k1} = a + 0{,}5\ b,$$

$$e_{k23} = -\ 0{,}25\ b,$$

$$e_{k4} = c + 0{,}5\ b.$$

L'auteur montre que le schéma équivalent qui vient d'être défini et qui permet d'étudier la fonctionnement du

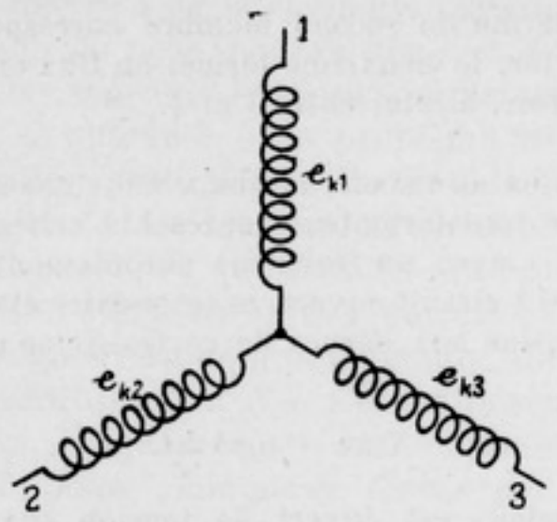


Fig. 2. — Schéma équivalent unipolaire du transformateur à trois enroulements, la résistance des enroulements étant négligeable.

transformateur à trois enroulements dans le cas de bobinages concentriques s'applique aux bobinages en galettes ; cette démonstration est basée, comme la précédente, sur l'étude de la répartition du flux de dispersion.

Par contre, ce procédé n'est plus applicable aux systèmes formés à la fois de bobinages concentriques et de bobinages en galettes.

2° *Cas d'un transformateur sans inductance.* — Ce cas limite est celui où seule la résistance des enroulements intervient. Celle-ci a pour effet de réduire le flux dans le

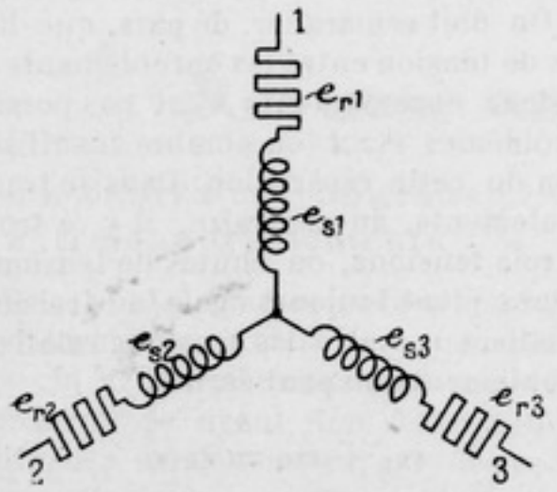


Fig 3. — Schéma équivalent unipolaire du transformateur à trois enroulements, dans le cas général où il est tenu compte de la résistance et de l'inductance.

fer ; à la tension E aux bornes du primaire correspond un flux dû à $E - r_1 I$, si r_1 est la résistance du primaire, et ce flux donne lieu dans le secondaire en court-circuit, s'il n'y a que deux enroulements, à la chute de tension $r_2 I$, de sorte que

$$E = I\ (r_1 + r_2).$$

Dans le cas d'un troisième enroulement, également en court-circuit,

$$E = I\left(r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}\right),$$

d'où la possibilité de représenter le système par un schéma semblable à celui de la figure 2, mais où les inductances sont remplacées par des résistances.

3° *Cas général.* — Les enroulements comportant à la fois résistance et inductance, le schéma général est celui représenté sur la figure 3. Il convient de remarquer, pour l'application de ce schéma, que la résistance a pour effet de diminuer le flux, tandis que la présence de l'inductance se traduit par un déphasage du flux. — A. C.

La structure des diélectriques et leur rupture (1).

1. Généralités. — Si on applique à un diélectrique une tension progressivement croissante et qu'on relève en même temps l'intensité du courant de conduction, on obtient une courbe telle que celle de la figure 1, déterminée expérimentalement pour la première fois par K.-W. Wagner ; elle montre qu'au début l'intensité de ce courant croît d'abord proportionnellement à la tension, puis, après une période

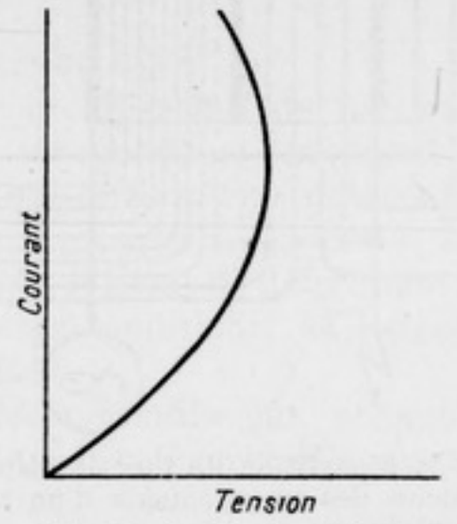


Fig. 1. — Courbe de l'intensité du courant en fonction de la tension dans un diélectrique.

où elle croît beaucoup plus vite que celle-ci, elle atteint un point où elle continue à croître sans que la tension augmente. A ce point correspond la tension de rupture du diélectrique. On peut définir cette rupture comme le commencement d'un état d'instabilité du courant, définition qui suppose l'existence d'un mécanisme produisant l'instabilité, mais qui ne repose sur aucune théorie particulière. Il ne semble pas d'ailleurs qu'une explication de ces faits puisse être donnée actuellement, car la rupture d'un diélectrique est essentiellement un phénomène d'instabilité de la structure moléculaire sous l'action de forces extérieures et nos connaissances sur cette structure à l'état stable sont encore peu étendues. Il faut donc se borner à donner du phénomène une explication basée sur des conceptions plus courantes.

2. Théorie de Miles Walker. — Le professeur Miles Walker a proposé une théorie de la rupture des diélectriques basée sur les pertes calorifiques de ces derniers. Par suite de la mauvaise conductibilité thermique de presque tous les diélectriques, ces pertes, bien que très faibles à l'origine, produisent une élévation de la température dans le diélectrique, qui favorise encore leur accroissement. Cependant, la température du diélectrique continuant ainsi à croître, la quan-

(1) J.-K. Gillett. *The Electrician*, 11 octobre 1929, t. CIII, p. 423-425, 3 200 mots, 4 figures.

tité de chaleur qu'il peut échanger avec l'extérieur augmente également. On peut donc soit atteindre un état d'équilibre, soit arriver à la destruction du diélectrique par la chaleur qui s'y est développée par les pertes, si celles-ci augmentent considérablement avec la température. Cette théorie peut donner une explication qualitative des phénomènes, mais ne permet ni de prédéterminer les conditions dans lesquelles ils peuvent se produire, ni de calculer leur grandeur. C'est K.-W. Wagner qui, le premier, a essayé d'exprimer mathématiquement ces propriétés.

3. Théorie de K.-W. Wagner. — Cette théorie repose sur l'hétérogénéité des diélectriques. Wagner conçoit l'existence dans le diélectrique de portions de moindre résistance sous forme de filaments ou cylindres dont l'axe serait normal au plan des électrodes. La chaleur dégagée se dissipe dans le diélectrique parallèlement à ce plan. Lorsque le taux d'accroissement de la perte devient plus rapide que celui de dissipation de la chaleur, l'instabilité du courant dans le filament se produit et la température continue à croître.

Wagner établit ainsi une analogie avec un fusible qui met en évidence un défaut de sa conception : il néglige l'effet de refroidissement des extrémités qui correspondrait par similitude à un écoulement sensible de chaleur vers les électrodes, à moins que l'épaisseur du diélectrique ne soit très grande, auquel cas d'ailleurs il semble peu plausible qu'il puisse y avoir des filaments le traversant entièrement. En outre, d'après cette hypothèse, la tension de rupture devrait être proportionnelle à l'épaisseur, ce que l'expérience est loin de vérifier. Enfin la théorie de Wagner ne permet pas d'expliquer l'influence de la conductibilité thermique des électrodes qui, d'après de nombreuses expériences, n'est pas à négliger.

En somme, il est évident que tout dépend du degré d'hétérogénéité supposé, et qu'il y a lieu d'abord d'établir une théorie de l'instabilité thermique dans un milieu homogène. Ce problème a été étudié par Rogowski, L. Dreyfus et V. Fock et d'autres, qui prouvèrent que les phénomènes et le mécanisme de rupture des diélectriques sont très différents suivant qu'ils se passent à basse ou à haute température.

4. Phénomènes caractéristiques. — Si l'on considère la courbe générale (fig. 2) de la variation de la tension de

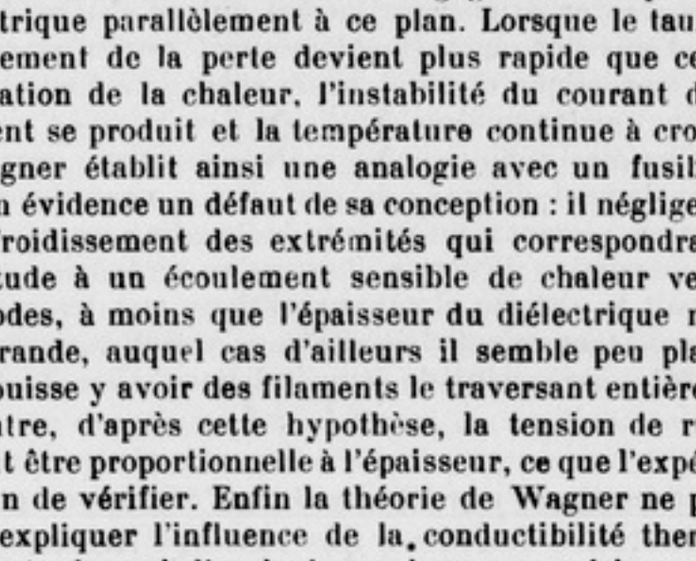


Fig. 2. — Courbe de la tension de rupture en fonction de la température.

rupture en fonction de la température, on peut y distinguer deux zones. Dans la première, correspondant aux basses températures et dite « zone d'effet électrique », les phénomènes caractéristiques y accompagnant la rupture sont : la dépendance de la tension de rupture du courant maximum et de la forme du champ électrostatique, la faible action de la température et de la durée sur la tension de rupture, qui y est en outre pratiquement indépendante de la résistivité volumique. Dans la seconde zone les conditions thermiques influent notablement sur la tension de rupture qui varie avec la température, la durée et la résistivité volumique. Pour la seconde zone, la théorie thermique de Dreyfus et de Fock fournit une explication quantitative suffisante, mais ne peut être appliquée dans la première zone. Diverses théories ont été proposées pour expliquer la rupture par effet du champ électrique. Nous citerons seulement ici celle d'Horowitz basée sur une étude mathématique de la stabilité d'une cavité de petites dimensions dans un champ électrique. A l'action du champ s'opposent la tension superficielle et l'élasticité du milieu considéré. Lorsque l'intensité du champ électrique dépasse une certaine valeur, l'équilibre est rompu et la cavité tend à s'allonger.

5. Influence de la microstructure sur les propriétés électriques. — L'auteur de l'article qui nous occupe estime qu'il y a lieu d'examiner l'influence que peut avoir la microstructure d'un diélectrique sur ses propriétés électriques. Les diélectriques sont des substances hétérogènes isotropes en général. Il n'est pas douteux que les particules incluses dans la masse formant liant agissent par leurs dimensions, leur forme et leur nature, et l'uniformité de leur dispersion influe sur l'uniformité d'intensité du champ électrique dans le diélectrique. Cette intensité est plus forte autour de ces particules, et d'autant plus que leur forme est plus irrégulière ; de même les contraintes résultantes sont d'autant plus grandes que ces particules sont plus irrégulières et irrégulièrement réparties. On peut donc en conclure que plus un diélectrique possède une microstructure fine et régulière, mieux il peut résister aux contraintes électriques. — J. S.

Démonstration expérimentale de l'équivalence d'une charge électrostatique animée mécaniquement d'un mouvement oscillatoire à un courant alternatif (1).

1. Introduction. — Par sa célèbre expérience, faite il y a plus de cinquante ans, Rowland montra qu'une charge électrostatique en mouvement uniforme produisait autour d'elle un champ magnétique invariable dont l'intensité a la valeur que l'on trouve par le calcul en admettant qu'un courant électrique ordinaire consiste en des charges en mouvement et que le rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique de quantité d'électricité est mesuré par le même nombre que la vitesse de la lumière. Ainsi se trouvait établie la correction de l'hypothèse relative au courant électrique continu et, en conséquence, partiellement confirmées les notions fondamentales servant de base à la théorie électromagnétique.

Le but du présent travail est d'étudier un peu plus avant ces notions fondamentales, en essayant de mettre en évidence l'équivalence entre un courant alternatif ordinaire et une charge électrique mise en mouvement oscillant par un procédé mécanique. La méthode consiste en principe à déterminer si la charge électrique en mouvement produit

(1) R.-C. Tolman et D.-B. McRae. *The physical Review*, 15 octobre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1075-1105, 11 000 mots, 7 figures.

par induction les effets prévus, dans une bobine secondaire convenablement disposée. On verra plus loin que l'équivalence a été démontrée de façon satisfaisante.

Ces expériences doivent être considérées comme fournissant la justification d'une portion un peu plus étendue des fondements de la théorie électromagnétique que ne le faisait l'expérience de Rowland sous sa forme initiale simple. En effet, l'expérience de Rowland montre simplement qu'une charge électrique en mouvement uniforme s'entoure d'un champ magnétique continu de l'intensité prévue; de la présente expérience, il résulte qu'une charge électrique en mouvement oscillant s'entoure d'un champ magnétique alternatif, accompagné d'un champ électrique alternatif de vecteur normal au premier, qui fait naître dans la bobine secondaire une force électromotrice alternative, tandis que perpendiculairement aux deux vecteurs électrique et magnétique doit apparaître un vecteur de Poynting, qui correspond à la transmission observée d'énergie au secondaire; ces grandeurs ont toutes la valeur prévue par la théorie électromagnétique.

2. Description de l'appareil. — L'appareil consiste en un cylindre d'environ 4 inches de diamètre et de 9 inches de longueur, formé d'une matière isolante, mais recouvert extérieurement d'une mince feuille de cuivre, qui peut être portée à des potentiels compris entre 1 400 et 2 600 v. Le cylindre est disposé de façon à osciller autour de son axe à des fréquences de l'ordre de 20 p:s, avec une amplitude d'un peu plus de 180°. Autour du cylindre est disposée une bobine détectrice de l'effet produit, qui est blindée au moyen d'une feuille de cuivre reliée au sol, la portion interne de ce blindage formant, avec la feuille de cuivre du cylindre, les deux armatures d'un condensateur. Une bobine compensatrice est, d'autre part, connectée en opposition avec la précédente; elle a le même nombre de spires que cette dernière, soit 260 772, et neutralisera donc l'effet des perturbations magnétiques extérieures. Le circuit des bobines est connecté par l'intermédiaire d'un circuit amplificateur à trois étages à un galvanomètre à vibrations accordé de façon à permettre de déceler la force électromotrice éventuellement induite par les oscillations du cylindre chargé.

La mesure de cette force électromotrice se fait par une méthode potentiométrique, à l'aide d'un courant auxiliaire passant dans une feuille métallique, qui induit une force électromotrice de sens contraire dans la bobine compensatrice, ce courant auxiliaire ayant la même fréquence que la force électromotrice à équilibrer et étant, d'autre part, réglable aux points de vue de la phase et de l'amplitude.

L'appareil est enfin étalonné en remplaçant le cylindre oscillant chargé par une nappe de courant de dimensions et d'intensité connues. Les auteurs ont étudié au préalable les effets accidentels provenant de diverses causes et les ont réduits ou éliminés aussi complètement que possible.

3. Résultats des expériences et conclusions. — Il a été fait au total 64 expériences, outre les mesures nécessaires pour corriger un petit effet résiduel. Les expériences sont effectuées en 16 groupes de quatre expériences, les expériences de chaque groupe étant exécutées dans les mêmes conditions. Les changements de conditions correspondent à des changements du signe et de la grandeur du potentiel appliqué au cylindre, à des changements dans le mode de connexion des bobines à la grille et au filament de l'amplificateur, à des changements dans la position d'équilibre par rapport à laquelle le cylindre oscillait et enfin à des changements dans la fréquence des oscillations.

La phase de l'effet obtenu s'est montrée dépendre des conditions des expériences, de la façon prévue par la théorie. Elle changeait notamment de 180° pour un changement de signe du potentiel appliqué; elle dépendait des connexions et de la fréquence des oscillations d'une façon conforme aux courbes de calibrage et elle était indépendante de la position d'équilibre par rapport à laquelle le cylindre oscillait. La grandeur de l'effet obtenu était également conforme à la théorie. Elle était exactement proportionnelle au potentiel du cylindre et à la vitesse de son mouvement et elle avait très sensiblement la valeur absolue calculable d'après la capacité mesurée du cylindre, son potentiel et sa vitesse.

Ainsi, ces expériences montrent qu'une charge électrostatique mise en mouvement oscillant est entourée d'un champ magnétique et d'un champ électrique dont les vecteurs sont rectangulaires et qui sont capables de produire une force électromotrice alternative dans un secondaire convenablement disposé; de plus, il y a, normalement au plan de ces vecteurs, un vecteur de Poynting correspondant à la transmission d'énergie observée au secondaire, comme le prévoit la théorie électromagnétique que les résultats confirment tant au point de vue de la valeur des grandeurs considérées qu'à celui de leurs relations avec le temps. — L. B.

Considérations sur l'émission d'électrons par les conducteurs soumis à des champs intenses (1).

La production des courants électroniques émis par les métaux sous l'action de champs électriques intenses est étudiée ici à un point de vue thermodynamique, l'électron étant considéré comme un point chargé électriquement. Pour créer des champs intenses en évitant les phénomènes réversibles qui peuvent prendre naissance par l'application de quelques milliers de volts à des conducteurs, l'auteur utilise la force électromotrice de contact de deux métaux. Il imagine le dispositif théorique suivant : deux demi-anneaux constitués de métaux différents ont une de leurs extrémités soudées ensemble, tandis que les deux autres sont séparées par une distance de l'ordre de 10^{-6} cm. La différence de potentiel due à la force électromotrice de contact entre les deux métaux crée dans cet intervalle un champ magnétique intense.

Les résultats obtenus sont les suivants : 1° Le classement des métaux que l'on peut établir en se basant sur l'intensité du courant qu'ils émettent dans les champs intenses est le même que celui qui s'appuie sur la considération des forces électromotrices de contact; 2° Dans l'intervalle laissé entre les deux métaux dans le dispositif précédent, la densité de la couche d'électrons située tout près de la surface du métal et en équilibre avec celle-ci est indépendante du signe de la charge de cette surface, c'est-à-dire du sens de la force qui sollicite les électrons à se rapprocher ou à s'éloigner du métal.

La première assertion semble pouvoir s'expliquer en partant de la mécanique des quanta; mais il paraît plus difficile d'expliquer la seconde, à moins d'une représentation appropriée de la « barrière électrique » qui retient les électrons à l'intérieur d'une surface métallique. — A. A.

(1) P.-W. Bridgman. *The physical Review*, 1er décembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1411-1417. 2200 mots, 3 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

La commande des machines à papier à plusieurs moteurs avec synchronisation électrique des vitesses

Après avoir indiqué les conditions techniques que doivent remplir les commandes de machines à papier à plusieurs moteurs, l'auteur passe en revue les trois systèmes les plus généralement utilisés à l'heure actuelle pour obtenir la synchronisation électrique des vitesses. Il montre les avantages que présente le système avec différentiels électriques par rapport aux deux autres. Ces considérations générales sont suivies de la description des installations électriques de la Société nouvelle de Papeterie à Grand-Couronne, où le système préconisé est appliqué depuis une époque toute récente.

I. **Introduction**. — L'industrie du papier a pris dans ces dernières années une extension considérable, aussi bien en France qu'à l'étranger. Le matériel électrique utilisé dans les papeteries a dû suivre cette évolution et répondre aux nouvelles applications qui lui étaient demandées.

Les machines à papier perfectionnées que l'on construit actuellement permettent de fabriquer le papier à une vitesse de 350 mètres par minute. Elles sont constituées par différentes sections, presse humide, presse coucheuse, groupe sécheur, calandre, etc., actionnées chacune par un moteur (fig. 1). On obtient la vitesse désirée pour la fabrication du papier en réglant celle d'un moteur pilote qui sera dite vitesse pilote et ensuite transmise à toutes les commandes sectionnelles.

Quelles que soient les variations du courant d'alimentation et du travail demandé par chacune des sections, il faut que les vitesses des moteurs des commandes sectionnelles restent dans un rapport constant. En outre, il doit toujours y avoir possibilité de régler le tirage du papier entre les différents éléments constituant la machine, de telle sorte qu'après réglage de la vitesse et du tirage, toute variation de vitesse dans une partie quelconque de la machine doit être immédiatement et automatiquement corrigée. Le problème qui se pose, quoique très difficile à résoudre, est très intéressant au point de vue technique; on comprend donc que des solutions aient été cherchées par des constructeurs de tous pays.

La plupart des dispositifs, très variés, qui ont été proposés(1) ne permettent malheureusement pas une réalisation pratique; certains, en effet, ne répondent pas entièrement aux conditions demandées et d'autres exigent des appareils trop sensibles ou trop compliqués.

(1) P. Weiske et K. Ruppreciit: Regelsysteme fur Papiermaschinen-Mehrmotorenantriebe. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, Festheft 1927.

II. **Différents systèmes de synchronisation électrique des vitesses**. — Actuellement, trois systèmes seulement restent en présence :

1° Le réglage de la synchronisation des vitesses au moyen de différentiels mécaniques avec transmission mécanique de la vitesse pilote;

2° Le réglage de la synchronisation des vitesses au moyen de différentiels mécaniques avec transmission électrique de la vitesse pilote;

3° La synchronisation des vitesses au moyen de machines de réglage électriques avec transmission électrique de la vitesse pilote.

Les figures 2, 3 et 4, représentent schématiquement ces différents systèmes. Dans les deux premiers systèmes, la comparaison de la vitesse de chacun des moteurs de commande M se fait à l'aide d'engrenages différentiels D. La synchronisation est assurée par un moteur pilote F sur la figure 2, et par un alternateur pilote G sur la figure 3. Lorsqu'une différence de vitesse se produit entre les deux arbres des différentiels tournant en sens contraire, l'axe de l'engrenage planétaire se met en mouvement et agit sur le rhéostat de réglage R, ce qui corrige la vitesse du moteur correspondant.

Le dispositif de la figure 2 avait été appliqué en Angleterre en 1913; la transmission de la vitesse pilote se faisait à l'aide d'un arbre disposé tout le long de la machine à papier. Il est à remarquer que le fait d'utiliser des engrenages de réglage et d'assurer leur liaison par un arbre de transmission ne présentait pas un progrès technique. En effet, les anciennes commandes des machines à papier se faisaient par transmission, et en utilisant une nouvelle transmission auxiliaire, on apportait différents inconvénients et de grosses difficultés d'installation.

Certains constructeurs reconnaissant ces désavantages ont supprimé l'arbre dépendant des différentiels mécaniques et ont transmis électriquement la vitesse pilote à chacun des moteurs de commande. Ce dispo-

sitif est représenté schématiquement sur la figure 3. Le moteur pilote n'est pas accouplé à un arbre de transmission, mais à une génératrice triphasée G. La fréquence du courant produit est réglée par la vitesse du moteur pilote. La commande de chacun des engrenages différentiels se fait alors à l'aide d'un petit moteur synchrone L, alimenté par le réseau RST de la génératrice pilote G. On a obtenu ainsi un système de réglage qui, bien que moins encombrant, conservait toute la précision de réglage du précédent.

Toutefois, ce dispositif se révélait encore trop compliqué par rapport au système utilisant des machines électriques pour le réglage de la synchronisation; la figure 4 représente schématiquement ce dernier dispositif. Le réglage de la synchronisation de chacun des moteurs M se fait à l'aide de petits moteurs asynchrones D à réluctance réglable, fonctionnant à la même vitesse que celle du moteur pilote F. Ces machines D sont de simples moteurs triphasés avec rotor en court-circuit; l'enroulement du stator est branché sur le réseau RST alimenté à la fréquence pilote par la génératrice G. La carcasse du stator est mobile autour de l'axe du rotor, et est, d'autre part, solidaire du rhéostat de réglage R. Les tôles du rotor sont découpées de façon à former des pôles saillants.

Fig. 1. — Vue d'ensemble de la commande électrique d'une machine à papier.

Trois conducteurs de très faible section suffisent pour relier ces moteurs à réluctance variable au réseau pilote.

III. **Avantages du système à différentiels électriques.** — Le mode de fonctionnement de ce dispositif repose sur le fait que la vitesse des rotors entraînés par la commande par courroie et poulies coniques $K_1 K_2$ est à tout instant comparée à celle du champ tournant des stators. Les petites poulies coniques, $K_1 K_2$ servent également au réglage du tirage du papier. Lorsque la vitesse angulaire du rotor et celle du champ tournant sont absolument identiques, il n'y a aucun effet entre le rotor et le stator. Lorsqu'il se présente une différence de vitesse, le couple proportionnel à cette différence, imprime un mouvement de rotation à la carcasse du stator. Ce mouvement est transmis au rhéostat de réglage R, de telle sorte que les variations de vitesse sont corrigées aussitôt après leur apparition.

La comparaison entre ce dispositif et les deux systèmes à différentiels mécaniques montre immédiatement la simplification importante que l'on a obtenue : on y a remplacé les engrenages différentiels et les moteurs pilotes individuels par un seul petit moteur à réluctance réglable D, qui constitue en soi-même la plus simple des machines synchrones. Ces considérations montrent également que le réglage réalisé par décalage entre le rotor et la carcasse est au moins aussi précis que celui obtenu à l'aide d'engrenages différentiels. Le réglage du rhéostat qui se produit lorsque la carcasse se déplace est amplifié, d'une part, par une résistance additionnelle, sur laquelle vient frotter un

bras de contact, et, d'autre part, par un jeu d'engrenages disposé entre le rhéostat et la carcasse du moteur à réluctance réglable. Des mesures précises exécutées sur de tels appareils ont permis de constater que le couple à vaincre par la carcasse du moteur à réluctance réglable est de 0,045 m-kg.

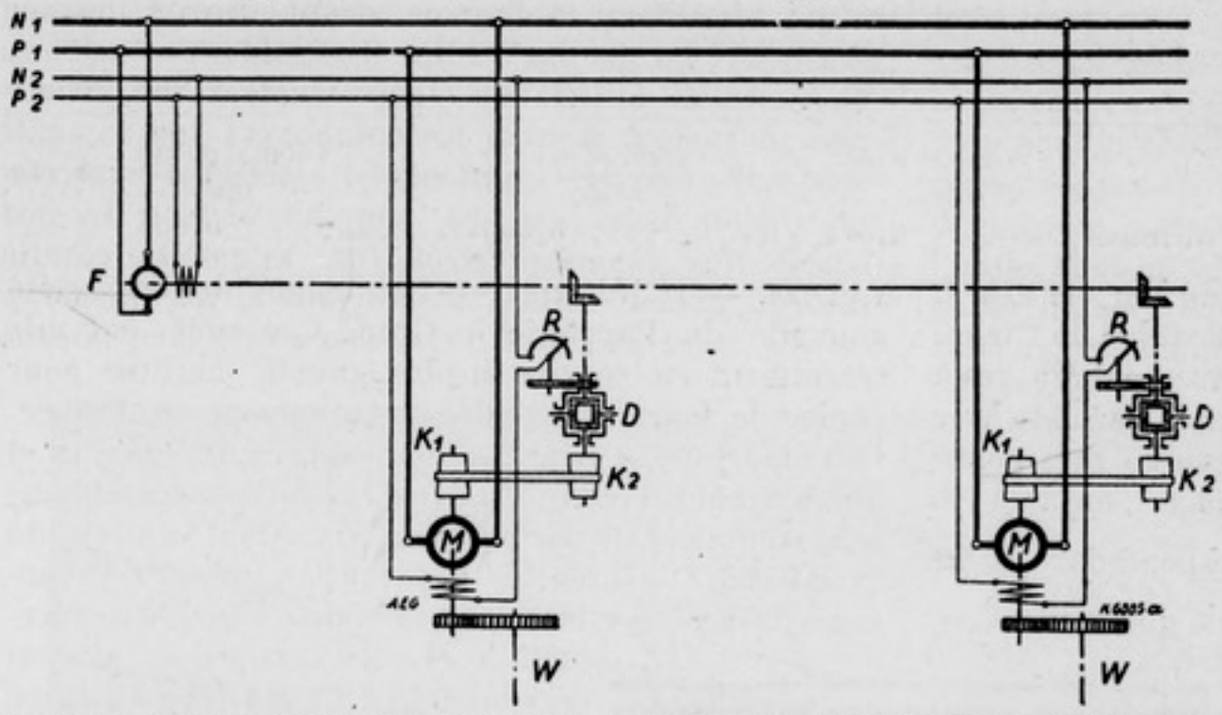


Fig. 2. — Schéma du système de synchronisation des vitesses au moyen de différentiels mécaniques, avec transmission mécanique de la vitesse pilote : P_1N_1, Réseau d'alimentation ; P_2N_2. Réseau d'excitation ; M. Moteurs des commandes sectionnelles ; F. Moteur pilote ; W, Arbres de commande ; K_1, K_2, Poulies coniques auxiliaires ; D, Différentiels mécaniques ; R, Rhéostats de réglage.

Lorsqu'un moteur synchrone est en charge, le décalage entre le rotor et le champ tournant dépend du couple résistant, mais reste toujours très faible. Il est d'ailleurs comparable à la torsion élastique d'un arbre de transmission. Celle-ci est fonction des dimensions et du coefficient d'élasticité de l'arbre, de même que l'angle de déphasage de la force contre-électromotrice sur la tension, dans le cas de transmission d'énergie par moteur synchrone, est fonction des dimensions de ce moteur. On peut donc maintenir l'angle de déphasage très petit en prévoyant le moteur synchrone suffisamment grand.

Les moteurs à réluctance réglable, destinés à transmettre le couple résistant aux rhéostats de réglage. sont très largement calculés, sans toutefois que leur prix ne devienne prohibitif pour l'application envisagée. Le couple que peuvent donner ces moteurs est d'environ 25 à 35 fois plus grand que celui nécessaire à la manœuvre du rhéostat, tandis que l'angle de déphasage de la force contre-électromotrice correspondant au couple résistant provenant de cette manœuvre est de 0,25 grade.

Il y a lieu de remarquer tout particulièrement que ce déphasage, tout à fait insignifiant, reste invariable quelle que soit la vitesse pilote, c'est-à-dire quelle que soit la vitesse de régime de la machine à papier, et cela, même pour des limites très étendues du réglage. Pratiquement, il n'est d'ailleurs pas appréciable en service, ainsi que le montrent les considérations suivantes.

La disposition de principe du moteur à réluctance réglable du moteur de commande et de l'arbre de commande par rapport à la machine à papier, est indiquée sur la figure 4. Le rapport de transformation de la commande par courroie et poulies coniques K_1 K_2 est toujours 1/1. Par contre, le rapport des engrenages entre le moteur M et l'arbre de la machine à papier à entraîner est différent suivant les cas. Il varie généralement entre 1/5 et 1/10 et quelquefois plus. Si l'on fait abstraction de l'allongement élastique de la courroie et du frottement sur les poulies K_1 K_2, on peut admettre que l'arbre de commande W et le rotor du moteur à réluctance réglable sont absolument solidaires, de telle sorte que pour un déplacement angulaire du rotor on n'obtient immédiatement sur l'arbre de commande qu'un déplacement angulaire beaucoup moindre. Etant donné que les cylindres ou rouleaux montés sur l'arbre W ont généralement une circonférence de

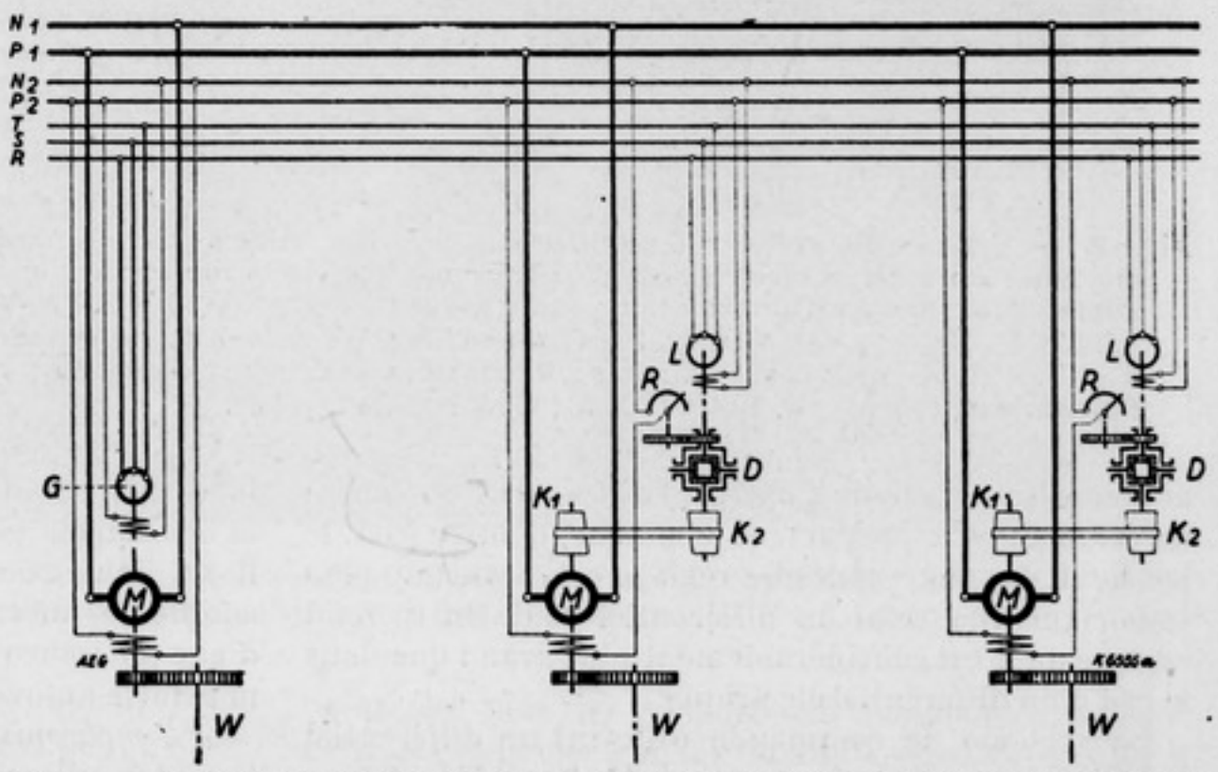


Fig. 3. — Schéma du système de synchronisation des vitesses au moyen de différentiels mécaniques, avec transmission électrique de la vitesse pilote : P_1N_1, Réseau d'alimentation ; P_2N_2, Réseau d'excitation ; R S T, Réseau pilote ; M, Moteurs des commandes sectionnelles ; G, Alternateur pilote ; L, Moteurs synchrones commandant les engrenages des différentiels ; K_1, K_2, Poulies coniques auxiliaires ; D, Différentiels mécaniques ; R, Rhéostats de réglage ; W, Arbres de commande.

2000 mm, le déplacement angulaire ne correspond qu'à une très faible largeur circonférentielle, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

Rapport de vitesse entre le moteur M et l'arbre à commander W	5	7,5	10
Déplacement angulaire de l'arbre à commander, en degrés	0,05	0,033	0,025
Valeur absolue de la variation de la longueur du rouleau de papier, en millimètres	$\frac{2000 \times 0,05}{360} = 0,28$	$\frac{2000 \times 0,033}{360} = 0,185$	$\frac{2000 \times 0,025}{360} = 0,140$
Valeur relative, en centièmes de cette variation	0,014	0,00925	0,007

d'engrenages du différentiel commandé par cet arbre. Si on néglige absolument la torsion élastique de l'arbre et si l'on considère un différentiel avec engrenages à dents très serrées, espacées par exemple de 5 mm avec un diamètre correspondant d'environ 85 mm même pour une taille très fine de ces engrenages, on a un jeu de $\frac{2 \times 5}{80} = 0,125$ mm, ce qui correspond dans notre cas à un angle de 0,33° (1). Etant donné que d'autres engrenages sont branchés entre le différentiel et l'arbre de commande, d'une part, et le moteur, d'autre part, le jeu total des engrenages de réglage est beaucoup plus important que celui du différentiel seul. On se rend compte qu'il est considérablement plus grand que dans le cas d'un différentiel électrique.

Le système de commande utilisant un différentiel électrique constitue donc un progrès considérable sur tous les autres systèmes de réglage ; son fonctionnement a d'ailleurs donné entière satisfaction ces temps derniers, lors des mises en service d'un grand nombre de machines à papier de différentes sortes et de différences largeurs.

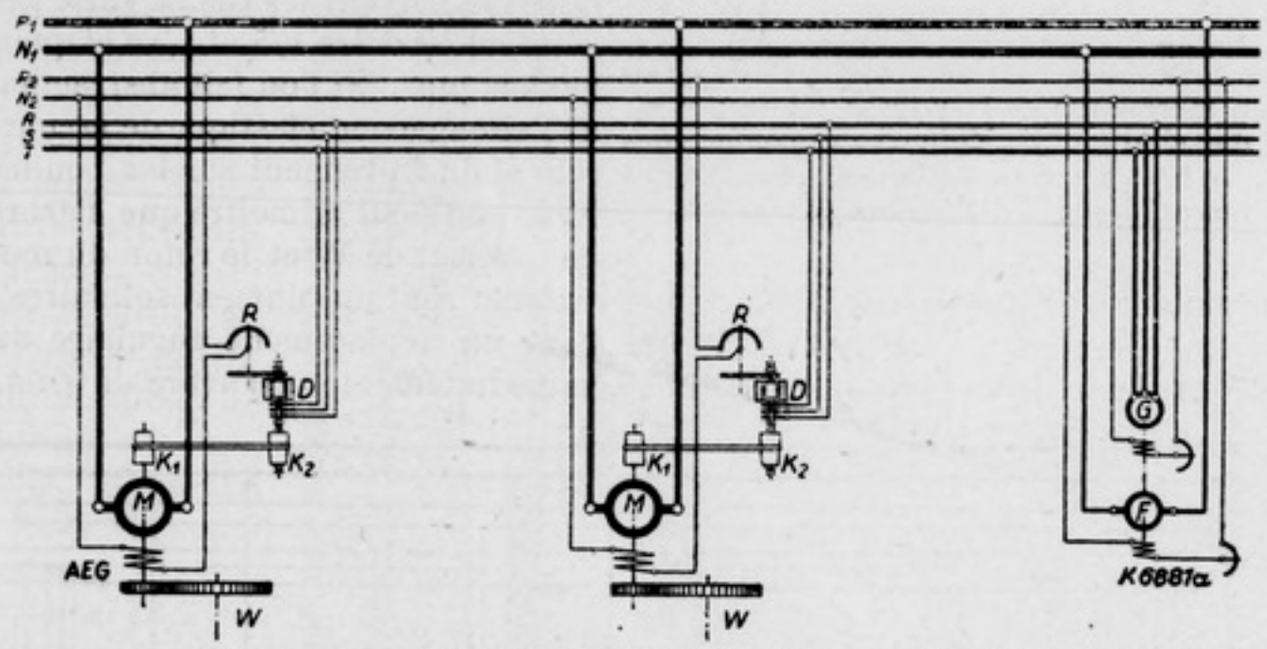


Fig. 4. — Schéma du système de synchronisation des vitesses au moyen de machines de réglage électriques, avec transmission électrique de la vitesse pilote : P_1N_1. Réseau d'alimentation ; P_2N_2. Réseau d'excitation ; R S T, Réseau pilote ; M, Moteurs des commandes sectionnelles ; W, Arbres de commande ; K_1, K_2, Poulies coniques auxiliaires ; D, Moteurs à réluctance réglable ; R, Rhéostats de réglage ; F, Moteur pilote ; G, Alternateur pilote.

IV. Les installations électriques de la Société nouvelle de Papeterie. — 1. Commande de la machine à papier. — 1° *Moteurs.* — Les usines de la Société nouvelle de Papeterie à Grand-Couronne ont mis récemment en service la plus grande machine pour papier de journal installée actuellement en France. Cette machine à papier a une largeur de 5,700 m et une longueur d'environ 125 m. Les différentes sections sont commandées par 9 moteurs à courant continu, du type fermé et ventilé. Cette exécution présente l'avantage de protéger les moteurs contre l'eau de condensation et cela, malgré la chaleur rayonnante de la machine à papier. Les moteurs peuvent donc être placés plus près de cette dernière, ce qui diminue l'emplacement nécessaire.

On a tenu compte, pour le choix des moteurs, du couple particulièrement élevé de certaines parties de la machine. De ce fait, la commande électrique peut aisément supporter les variations instantanées des charges qui sont relativement fortes.

2° *Engrenages.* — Les neuf moteurs attaquent l'arbre principal de chaque section par l'intermédiaire de réducteurs avec dentures à chevrons baignant dans l'huile.

3° *Ventilation.* — Les moteurs sont prévus pour ventilation auxiliaire. Celle-ci se fait par une conduite commune en tôle fixée au plafond du sous-sol. L'air est appelé par un ventilateur et des clapets permettent de régler le débit de cet air. Il y a lieu également de remarquer que si l'on avait adopté des moteurs ouverts, ceux-ci auraient dû être d'une puissance beaucoup plus forte, étant donné leur mauvaise autoventilation aux faibles vitesses.

4° *Synchronisation des vitesses.* — La synchronisation des vitesses s'effectue à l'aide de différentiels électriques, suivant la disposition représentée sur la figure 4, dont le fonctionnement est expliqué plus haut. Les organes de réglage sont logés dans un carter (fig. 5), d'encombrement réduit et de montage facile. Il n'y a pas de pièce mécanique entre l'appareil de réglage et le moteur de commande ; ils ne sont reliés entre eux que par une commande par courroie et poulies coniques servant également au réglage du tirage.

(1) Hutte. 24e édition, t. 1, page 1087.

L'alternateur pilote est entraîné par le moteur du premier groupe sécheur.

5° *Réglage du tirage.* — Les vitesses de rotation des divers arbres de commande de la machine à papier peuvent être modifiées suivant la qualité du papier que l'on veut obtenir. Il suffit d'agir sur les vitesses de chacun des moteurs dans les limites déterminées. Dans ce but, l'accouplement entre le moteur de commande et le différentiel électrique est prévu par courroie et poulies coniques. On peut ainsi obtenir des allures différentes, soit mécaniquement, soit électriquement, car la courroie de chaque moteur de commande peut être manœuvrée soit à la main par un volant, soit par un moteur dont le combinateur est disposé du côté opposé à celui des moteurs et où se tient le conducteur de la machine à papier.

6° *Appareillage.* — Chaque moteur peut être mis hors service indépendamment des autres, et remis en service par la suite. La commande se fait à l'aide d'un contacteur unipolaire, qui est manœuvré au moyen d'un bouton poussoir disposé du côté de la machine à papier opposé à celui des moteurs. Les rhéostats de démarrage, avec résistances solidaires baignant dans l'huile, sont installés dans le sous-sol et commandés à partir d'une colonne de manœuvre. Chacune de ces colonnes est munie d'un ampèremètre qui permet une

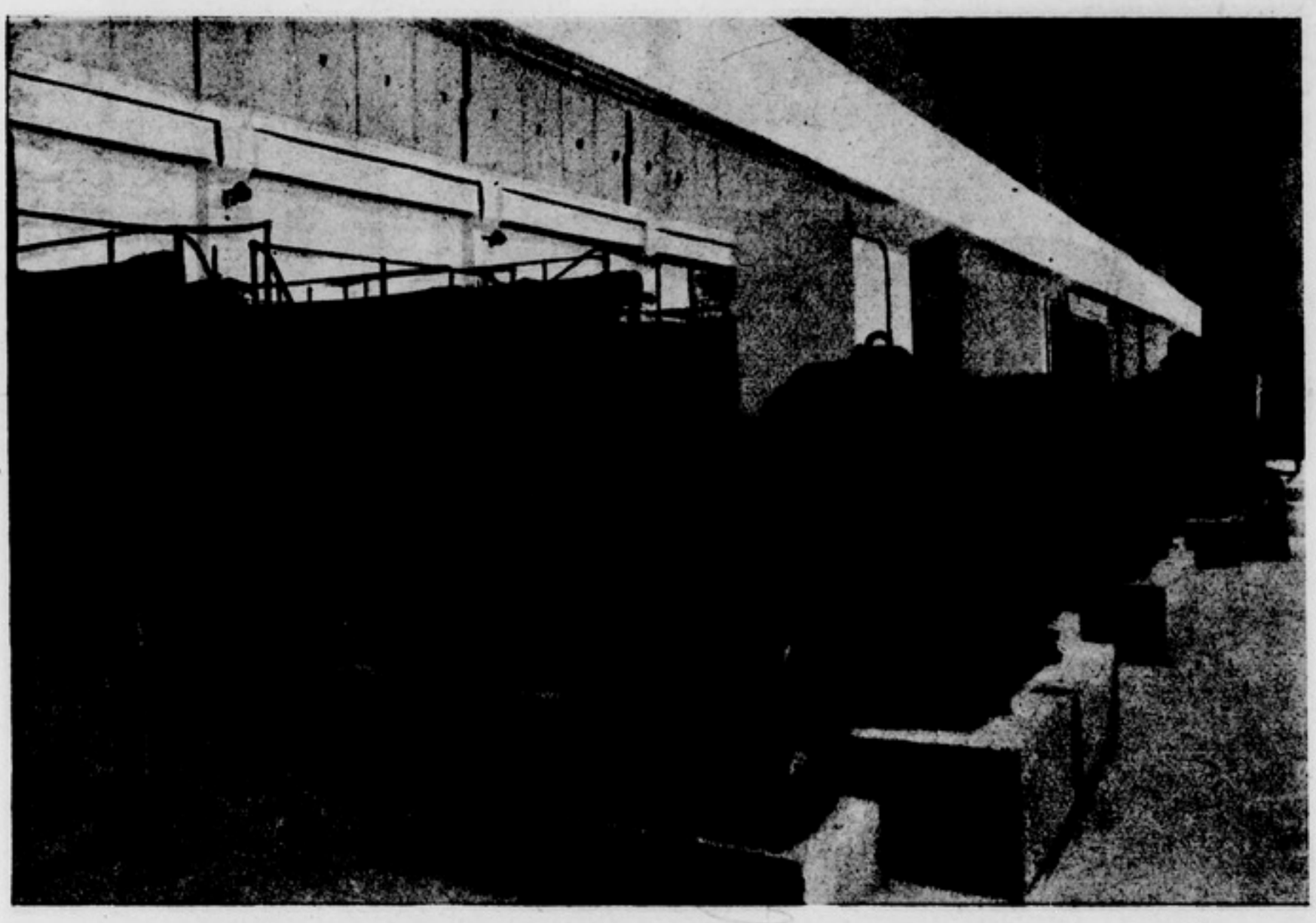


Fig. 5. — Vue d'un moteur de commande sectionnelle avec différentiel électrique, installé à la Société nouvelle de Papeterie à Grand-Couronne.

surveillance rapide de la marche des moteurs. Les indications des ampèremètres constituent pour le conducteur de la machine à papier un repère utile pour la charge des presses, pour la tension des feutres de séchage, etc.

2. Groupe de réglage. — 1° *Constitution et commande du groupe.* — Les moteurs sont alimentés par un groupe de réglage installé dans le hall de la machine à papier (fig. 6). Ce groupe comprend :

Une génératrice à excitation compound, fournissant une tension constante de 220 v et produisant l'énergie nécessaire pour les moteurs des commandes sectionnelles et également pour ceux de l'enrouleuse et de la bobineuse-coupeuse ;

Un survolteur-dévolteur, avec compoundage auxiliaire donnant une tension variable entre —220 v et +220 v, et excitée par la génératrice à tension constante ;

Une excitatrice shunt pour excitation de la génératrice à tension constante, avec réglage par régulateur Tirrill.

Ces trois machines sont entraînées directement par un moteur synchrone triphasé, d'une puissance de

1 200 kw alimenté directement à 5 000 v, l'excitation se faisant par la génératrice à tension constante et le démarrage en moteur asynchrone avec transformateur. Il peut être excité d'une façon continue pour que son facteur de puissance soit égal à 1 et fournir au réseau triphasé de la puissance réactive. On a pu ainsi obtenir, pour l'ensemble de l'installation, un facteur de puissance voisin de 0,95, bien qu'un grand nombre de petits moteurs ne travaillent généralement qu'à faible charge.

2° *Dispositif survolteur-dévolteur.* — Le réglage de la vitesse de chacun des moteurs de commande s'effectue suivant le dispositif survolteur-dévolteur par modification de la tension de l'induit de 0 à 440 v. Cette génératrice fournit, du fait de la modification ou du renversement de son excitation, un courant dont la tension peut varier de — 220 v à + 220 v, en passant par zéro. L'induit de cette machine et celui de la génératrice à tension constante étant connectés en série, on obtient une marge de tension variant de 0 à 440 v, dans les limites de laquelle la vitesse des moteurs de la machine à papier, et par suite la vitesse du papier, peuvent varier.

Le survolteur-dévolteur présente un avantage qui

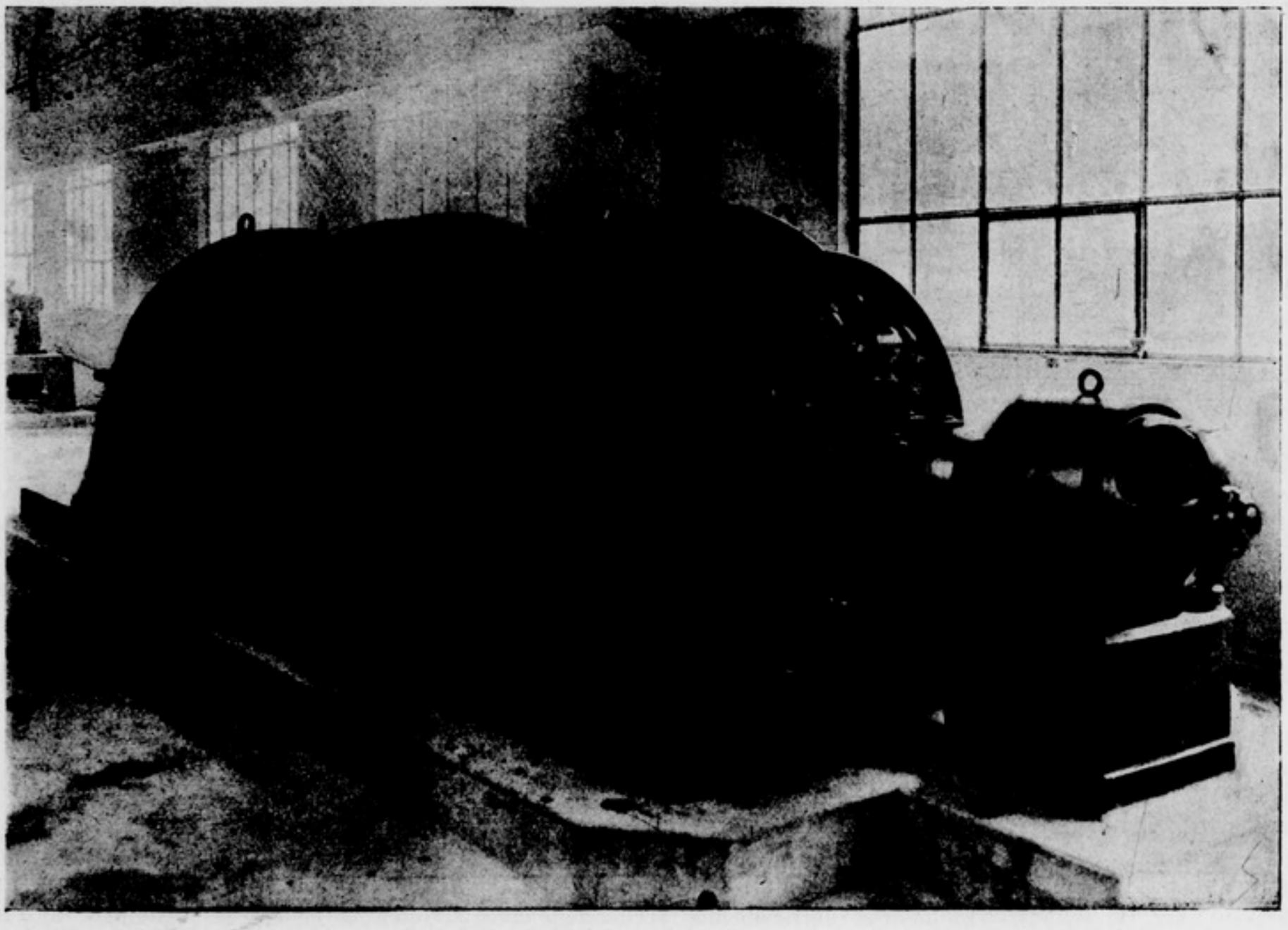


Fig. 6. — Vue du groupe de réglage installé à la Société nouvelle de Papeterie à Grand-Couronne.

augmente considérablement la sécurité de service de l'ensemble de l'installation. En effet, dans le couplage Léonard, un défaut à la machine Léonard entraînerait l'arrêt de toute la papeterie. Avec le système survolteur-dévolteur, si une machine du groupe de réglage devient défectueuse, il est encore possible de marcher à demi-vitesse avec la génératrice à tension constante ou avec le survolteur-dévolteur.

3° *Appareillage.* — La modification de l'excitation de la génératrice à tension variable est obtenue par un régulateur spécial survolteur-dévolteur (fig. 7), commandé à distance par des boutons poussoirs portant les indications « marche », « plus vite », « moins vite », « arrêt ». Ces boutons poussoirs sont logés avec les autres instruments de mesure dans un coffret de manœuvre monté au poste du conducteur.

Comme le réglage total de la vitesse n'a lieu que par modification du champ dû à l'excitation shunt du survolteur-dévolteur, les pertes d'énergie sont pratiquement nulles.

3. Production et distribution du courant d'alimentation des moteurs. — Le courant d'alimentation est fourni par un alternateur que commande une turbine à souti-

rage de vapeur; la quantité de vapeur ainsi soutirée pour le service auxiliaire peut atteindre 25 500 kg : h. la vapeur ayant une pression de 3 kg : cm². Le groupe turboalternateur a une puissance de 3 800 kw ; le courant engendré est triphasé à 5 000 v, 50 p : s et ali-

Fig. 7. — Vue du régulateur survolteur-dévolteur.

mente directement le moteur synchrone du groupe de réglage ainsi que tous les autres moteurs de la papeterie qui ont une puissance supérieure à 80 ch. Une centaine de moteurs de puissance inférieure à cette dernière sont alimentés sous la tension de 380 v.

Etant donné l'humidité et la chaleur qui règnent dans le hall et dans le sous-sol de la machine à papier, on a prévu partout des tableaux blindés pour la distribution à basse tension.

Les conditions particulières de service ont nécessité, pour toutes les connexions de faible section, l'emploi de câbles spéciaux pour locaux humides, qui comportent un conducteur de mise à la terre relié à l'armature.

Le réseau d'éclairage dans le hall de la machine à papier est notamment réalisé avec du matériel d'installation et des câbles spéciaux résistant parfaitement à l'humidité.

V. Conclusion. — Cette description succincte des installations électriques de la Société nouvelle de Papeterie laisse deviner les nombreuses exigences auxquelles doit répondre le matériel destiné à l'industrie papetière. On se rend compte des difficultés de montage qui se seraient présentées si l'on avait adopté une commande électrique par un arbre de transmission avec différentiels mécaniques, étant donné l'éloignement des différentes parties de la machine et les hauteurs d'axes variables pour chacune des sections à commander.

En résumé, le dispositif de commande réalisé à la Société nouvelle de Papeterie présente les avantages suivants sur tous les autres systèmes connus actuellement : précision de réglage, sécurité de service, encombrement réduit, montage facile, interchangeabilité des différentes parties. En outre, l'entretien de ce matériel est, pour ainsi dire, insignifiant, car tous les appareils de réglage sont groupés près de chaque moteur.

L'industrie papetière est donc à l'heure actuelle en possession d'un dispositif qui répond parfaitement aux conditions techniques demandées pour la commande des machines à papier a plusieurs moteurs.

R. Louchart.
Ingénieur E. T. P.

Nouvelles contributions expérimentales à l'étude d'un disjoncteur limiteur ultrarapide

Étude de la rapidité de fonctionnement d'un disjoncteur limiteur ultrarapide

Le disjoncteur limiteur ultrarapide qui fait l'objet de cette étude a été décrit dans cette revue (*) *par M. L. Barbillion. Cette description était suivie de résultats d'essais obtenus à la sous-station de Tarbes, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi. De nouveaux essais ayant eu lieu récemment sur un autre réseau dans des conditions très différentes, M. Branchu rend compte, dans les lignes qui suivent, des résultats enregistrés. Il précise, au début de l'article, le procédé adopté pour la mesure de la vitesse de rupture des contacts du limiteur, puis il commente et discute les oscillogrammes reproduits.*

Le fonctionnement du limiteur disjoncteur (fig. 1), lorsque survient un court-circuit, peut se diviser en plusieurs périodes : l'ouverture mécanique des contacts ; le développement de l'arc ; l'extinction de l'arc.

(*) L. Barbillion ; La protection des réseaux à courant continu contre les courts-circuits. *Revue générale de l'Electricité*, 9 février 1929, t. XXV, p. 213-224.

I. Mesure de la vitesse d'ouverture mécanique des contacts. — Le procédé suivant permettait

d'obtenir directement la courbe du déplacement du contact mobile.

Un style, fixé sur le contact mobile, traçait la courbe du mouvement de ce dernier sur un disque de laiton poli, enduit de noir de fumée et animé d'un mouvement de rotation rapide. Afin d'étalonner, à chaque essai, la vitesse de rotation, un deuxième style, fixé à un poids tombant par gravité en chute libre, traçait une spirale sur le même disque; d'après la loi de la chute des corps, il était donc facile de déterminer la vitesse de rotation; il suffisait de provoquer la chute du poids

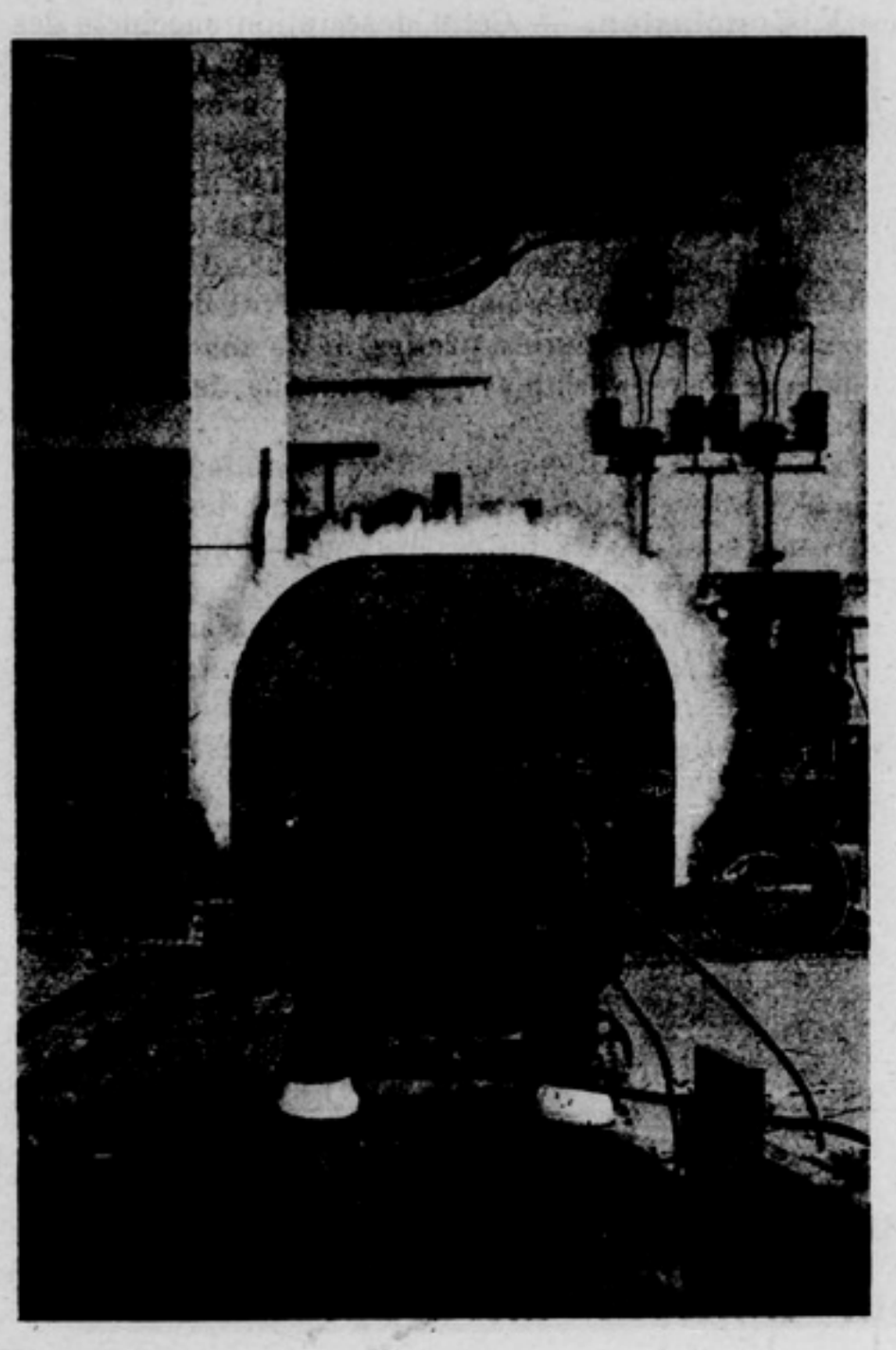


Fig. 1. — Vue du limiteur disjoncteur ultrarapide essayé.

au moment du court-circuit, ou à peu près, pourvu que le disque ait conservé sa vitesse.

La figure 2 montre une vue du disque après un enregistrement sur court-circuit franc, tandis que sur la figure 3 est tracée la trajectoire du contact mobile ; d'après cette dernière figure 3 la courbe d'étalonnage, en traits ponctués, a permis de déterminer la vitesse de rotation, soit un tour du disque en 0,03 s.

Enfin, la partie correspondant à l'ouverture du limiteur a été transposée en coordonnées cartésiennes (courbe 1 de la figure 4) et, de cette courbe des espaces, ont été déduites, par dérivations, celles des vitesses et des accélérations (courbes 2 et 3 de la même figure). On voit que l'accélération atteint la valeur extrêmement élevée de 15 000 m : s : s et l'on pourrait craindre un choc violent contre la butée. Afin d'éviter ce défaut, l'appareil a été construit de telle sorte que l'accélération cesse dès que les contacts sont suffisamment séparés. En effet, dès qu'une ouverture de quelques millimètres s'est produite, l'arc est violemment expulsé par le champ de soufflage et il est abolument inutile d'accélérer encore le mouvement. Grâce à cette propriété, la vitesse maximum atteinte ne dépasse pas 15 m : s, l'accélération tombant à zéro environ 0,001 s après le début de l'ouverture. A ce moment, la course est déjà de 7,8 mm.

Comme l'appareil est à double coupure, la séparation des contacts est alors $2 \times 7{,}5 = 15$ mm, distance

Fig. 2. — Photographie du disque enduit de noir de fumée, après l'enregistrement du mouvement de l'équipage mobile sur court-circuit franc.

plus que suffisante pour que l'arc soit expulsé. On peut donc évaluer le temps d'ouverture mécanique à moins de 1 milliseconde.

II. **Développement de l'arc.** — Nous reproduisons sur les figures 5 à 8 quelques oscillogrammes obtenus au cours des nouveaux essais sur un réseau de traction en courant continu à 1 500 volts. Chaque essai a été répété, dans des conditions identiques, avec un des disjoncteurs ultrarapides de la sous-station. On peut, par ce moyen, se rendre compte plus exactement du fonctionnement du limiteur, car on voit quelles seraient les allures du courant et de la tension sans son intervention.

Les oscillogrammes n° 4 et 10 (fig. 5) ont été obtenus sur un circuit présentant une certaine inductance, le

premier protégé par un limiteur, le deuxième, par un disjoncteur ultrarapide. La comparaison de ces deux

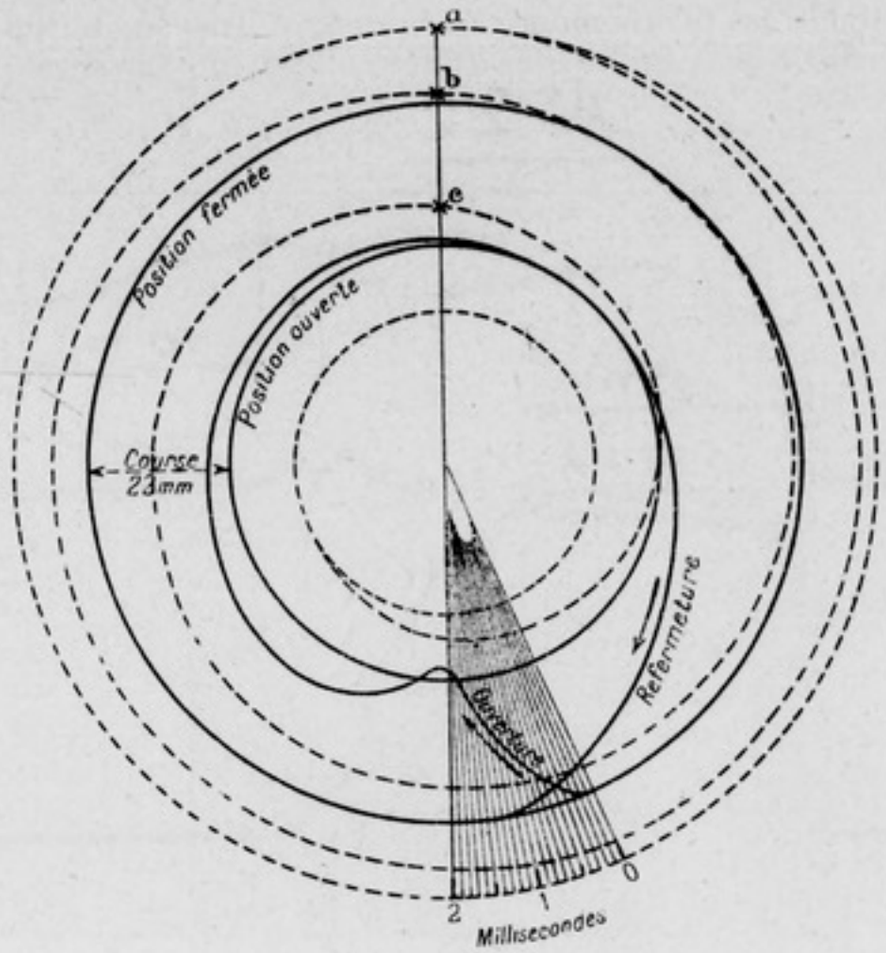


Fig. 3. — Représentation schématique de la trajectoire de l'équipage mobile d'après la photographie de la figure 2.

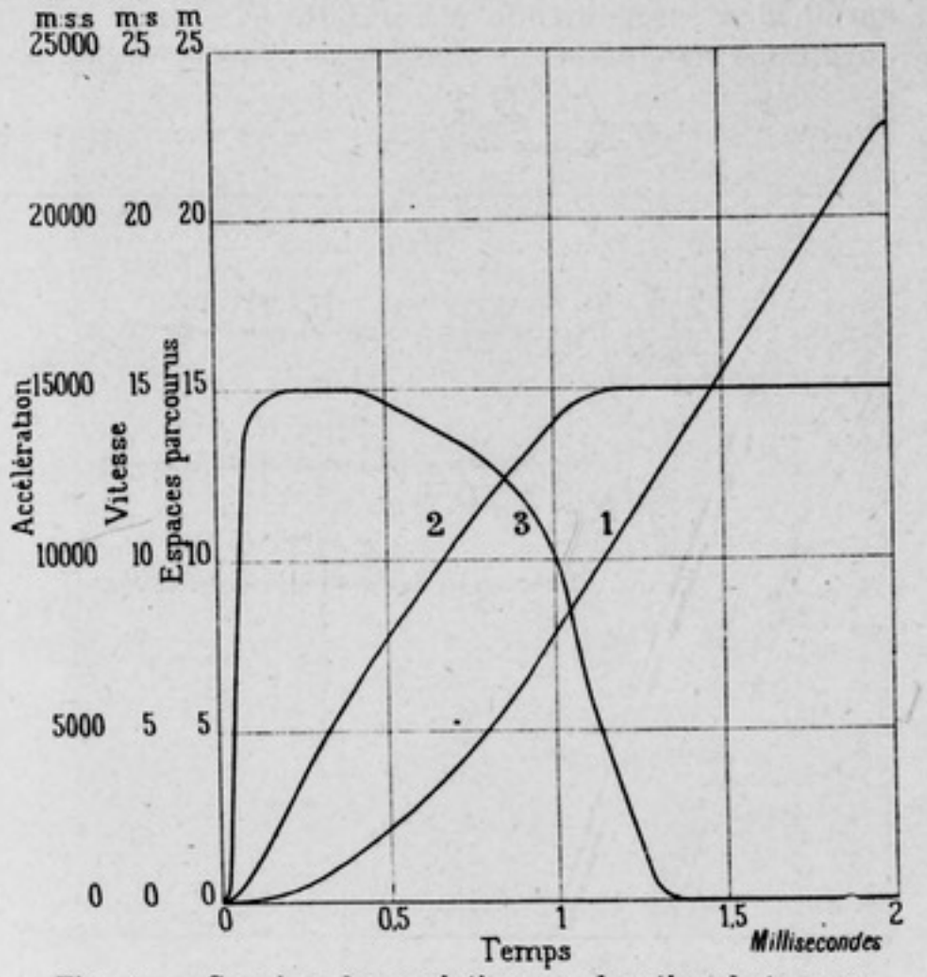


Fig. 4. — Courbes des variations en fonction du temps : 1, de l'espace parcouru ; 2, de la vitesse ; 3, de l'accélération.

oscillogrammes permet de déterminer que le limiteur a commencé à intervenir 0,0035 s après le début du court-circuit. On remarquera que la pointe de la courbe

eu le temps d'atteindre la valeur de 2 000 A correspondant à l'intensité du courant limité par la résistance qui shunte l'appareil. Les courbes en traits mixtes

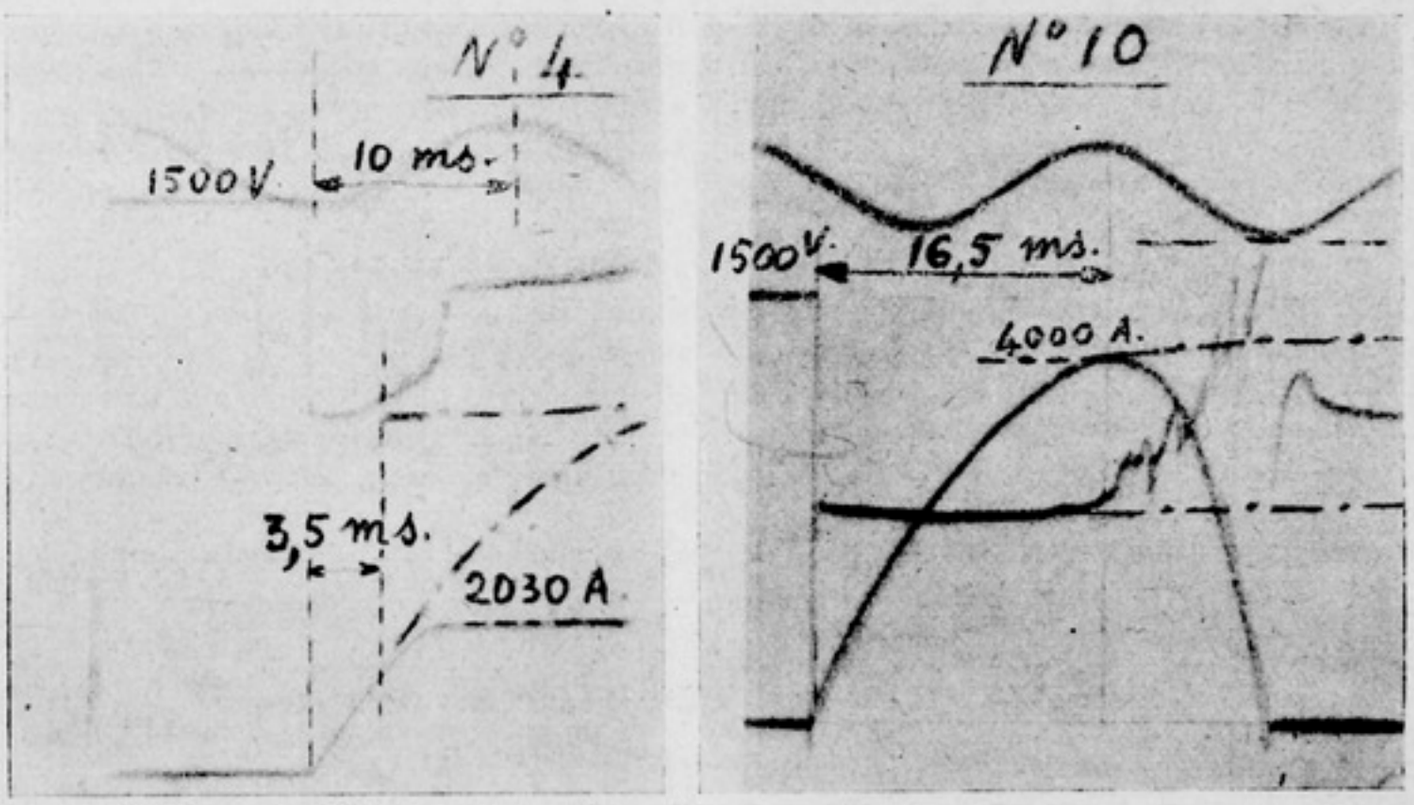


Fig. 5. — Oscillogrammes du courant et de la tension lors de la coupure d'un court-circuit inductif : n° 4, avec limiteur ; n° 10, avec disjoncteur ultrarapide. La courbe supérieure se rapporte à un courant alternatif de 50 p : s, pour l'étalonnage de temps ; sa déformation est due à l'influence du circuit principal.

sont celles qu'auraient suivi librement le courant et la tension sans l'action d'aucun appareil de protection.

On pourra comparer également deux à deux les oscillogrammes n°s 21 et 22, n°s 38 et 34, n°s 41 et 33 (fig. 6

à 8), obtenus lors de courts-circuits effectués dans la sous-station elle-même, sur des résistances progressivement décroissantes jusqu'au court-circuit franc. Ces courbes présentant toutes un maximum, les temps de

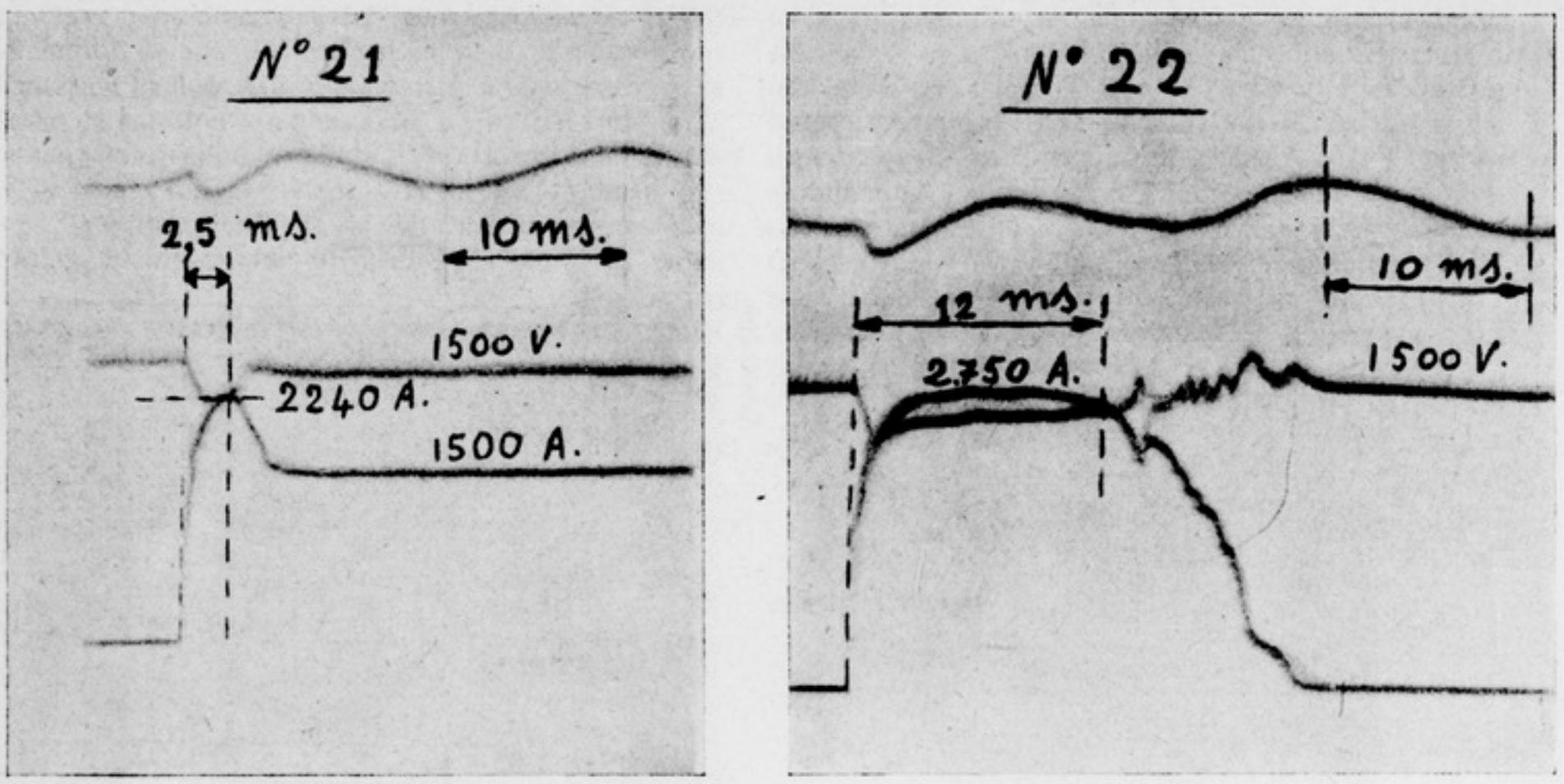


Fig. 6. — Oscillogrammes du courant et de la tension lors de la coupure d'un court-circuit sur résistance de 0,5 ohm : n° 21, avec limiteur ; n° 22, avec disjoncteur ultrarapide. Pour la courbe supérieure, voir la note de la légende de la figure 5.

fonctionnement ont été mesurés entre l'instant initial et le début de la partie décroissante. On voit que le limiteur fonctionne, dans tous les cas, en un temps d'environ 2 millisecondes.

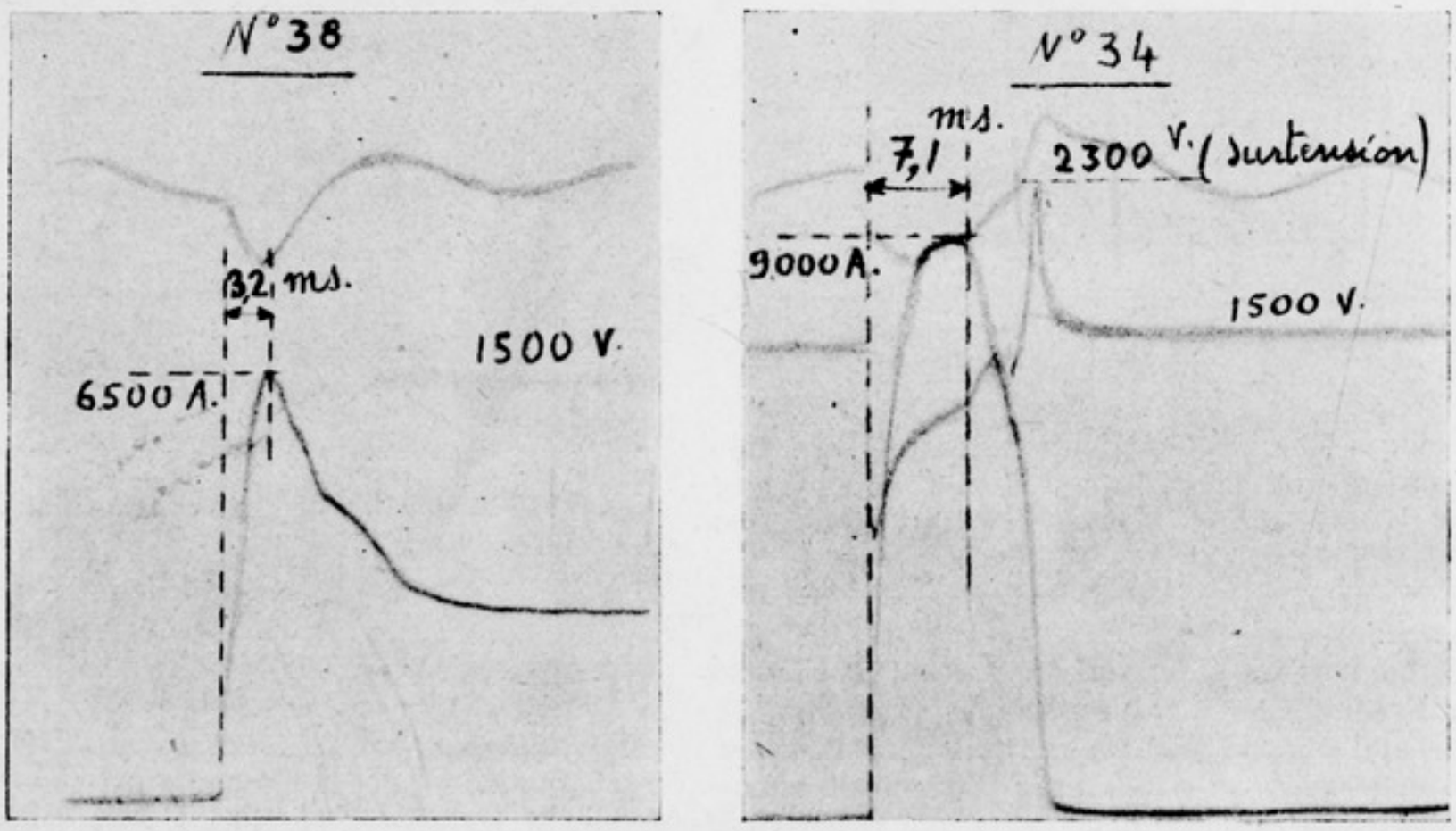


Fig. 7. — Oscillogrammes du courant et de la tension lors de la coupure d'un court-circuit sur résistance de 0,12 ohm : n° 38, avec limiteur : n° 34, avec disjoncteur ultrarapide. Pour la courbe supérieure voir la note de la légende de la figure 5.

III. **Extinction de l'arc et suppression de la surtension à la coupure.** — Sur les oscillogrammes correspondant aux essais du limiteur, on remarque, au premier examen des courbes de tension, que la

coupure, même en cas de court-circuit franc, n'est accompagnée d'aucune surtension. Ceci est dû à ce que, d'une part, le courant maximum atteint est réduit par la rapidité d'action extrême du limiteur et, d'autre part, la coupure est relativement très douce, ainsi qu'on le constate sur les courbes du courant.

Ce double résultat a été obtenu grâce à la forme épanouie des tôles du circuit magnétique de soufflage :

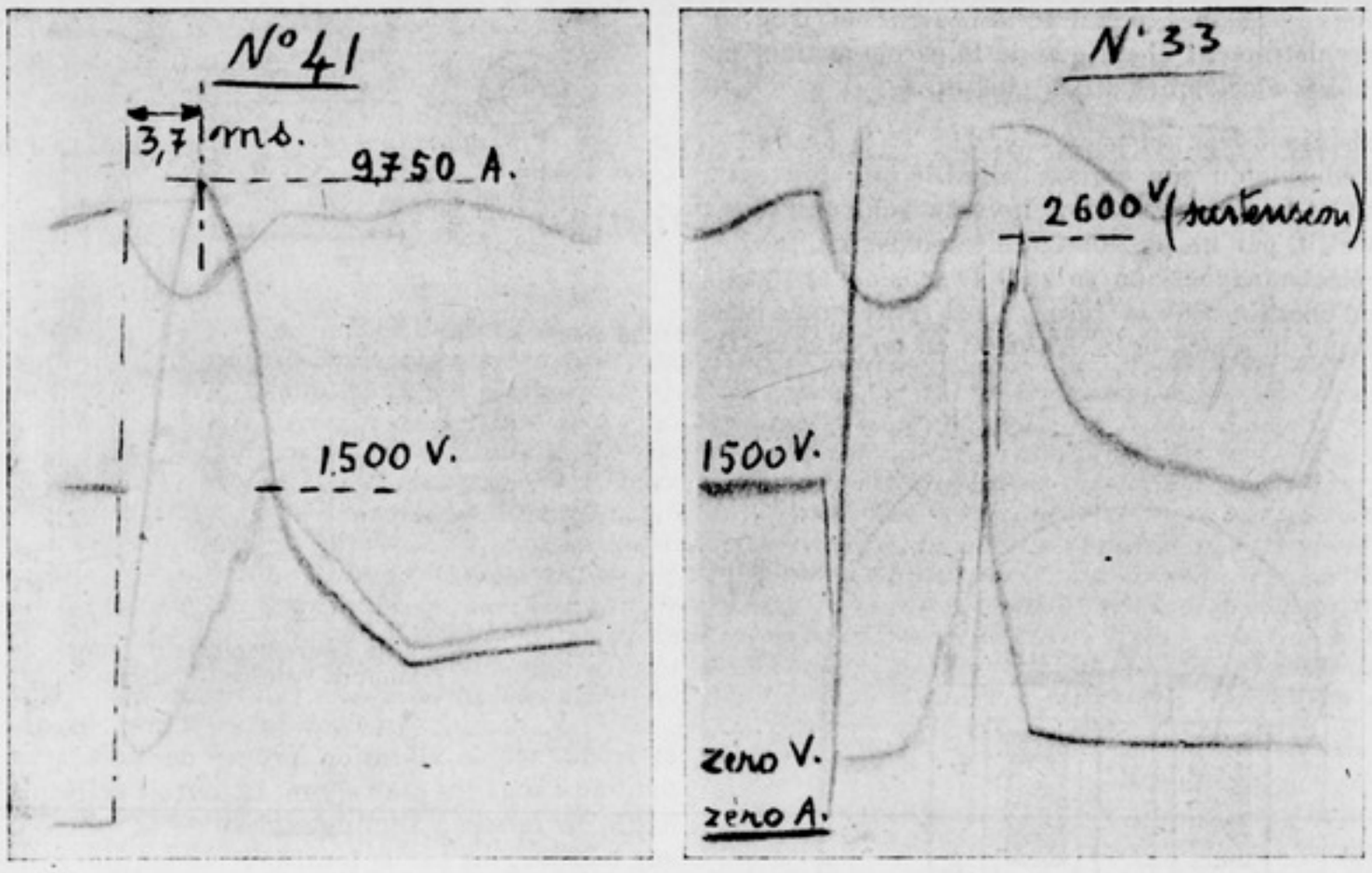


Fig. 8. — Oscillogrammes du courant et de la tension lors de la coupure d'un court-circuit franc : n° 41, avec limiteur ; n° 33, avec disjoncteur ultrarapide. Pour la courbe supérieure voir la note de la légende de la figure 5.

ainsi se trouve réalisé un champ très intense dans le voisinage immédiat des contacts; l'accroissement du courant est donc vite enrayé; par contre, ce champ étant de plus en plus faible à mesure que l'on s'écarte de cette région, le soufflage est modéré pendant la période d'extinction de l'arc.

IV. **Conclusion**. — Ces essais ont confirmé les résultats obtenus précédemment dans d'autres conditions; dans le cas présent, le circuit était alimenté par des commutatrices au lieu de redresseurs à vapeur de mercure, dénués d'inductance interne, la section des lignes et la puissance des machines étaient différentes, etc.

Une caractéristique essentielle du limiteur est la rapidité extrême de fonctionnement. Elle résulte de son principe même, consistant à emprunter à l'énergie du court-circuit l'énergie nécessaire pour provoquer l'ouverture rapide des contacts. Par ce moyen, une accélération du contact mobile de l'ordre de 15 000 m : s : s a pu être atteinte. Nous ne pensons pas qu'un tel résultat puisse être obtenu, sans de grandes difficultés, en faisant appel à l'énergie emmagasinée dans des ressorts.

Remarquons que malgré l'extrême rapidité d'action, la coupure n'est accompagnée d'aucune surtension, car l'extinction de l'arc n'est pas brutale. Ce résultat a été obtenu par la forme du circuit magnétique de soufflage.

P. Branchu,
Ingénieur
aux Etablissements Merlin et Gerin.

Revues, analyses et informations

Films sonores et films parlants (1).

1. Introduction. — L'enregistrement et la reproduction des paroles des acteurs pendant que se déroule le film cinématographique ont fait l'objet durant ces dernières années d'un certain nombre de solutions que M. Soulier examine rapidement dans cet article pour décrire plus en détail le système Gaumont-Petersen-Poulsen. Il rappelle d'abord que, depuis longtemps, M. Gaumont étudie cette question. Bien avant la guerre, en effet, ce dernier réalisa, avec la collaboration d'Armagnat, un film parlant, qui fut présenté à l'Académie des Sciences par M. d'Arsonval. Dans ce système, le moteur à courant continu qui entraînait le film portait deux ou trois bagues reliées à une petite commutatrice analogue au moteur; celle-ci commandait un disque de phonographe sur lequel étaient inscrits les sons émis par

(1) A. Soulier. *L'Industrie électrique*, 25 novembre 1929, t. xxxviii, p. 509-513, 2 500 mots, 8 figures.

l'orateur lui-même représenté sur le film. Si le synchronisme ainsi obtenu était satisfaisant, les gestes de l'orateur coïncidaient avec la parole. Le seul inconvénient résidait dans la faiblesse de l'intensité du son émis, inconvénient auquel il ne put être remédié que lors du développement des applications des lampes comme amplificateurs et, d'autre part, de l'enregistrement électrique de la parole au moyen des phonographes électriques dits « pick-up ».

2. Le phonographe électrique ou « pick up ». — La transmission de l'énergie du son émis à l'aiguille qui doit agir sur le disque et la transformation inverse sont assurées, dans ce dispositif, par un phénomène électromagnétique ou d'induction électromagnétique suivant le sens de la transformation de l'énergie. Sur la figure 1 est représentée une vue schématique du « pick-up ». L'aimant en fer à cheval G

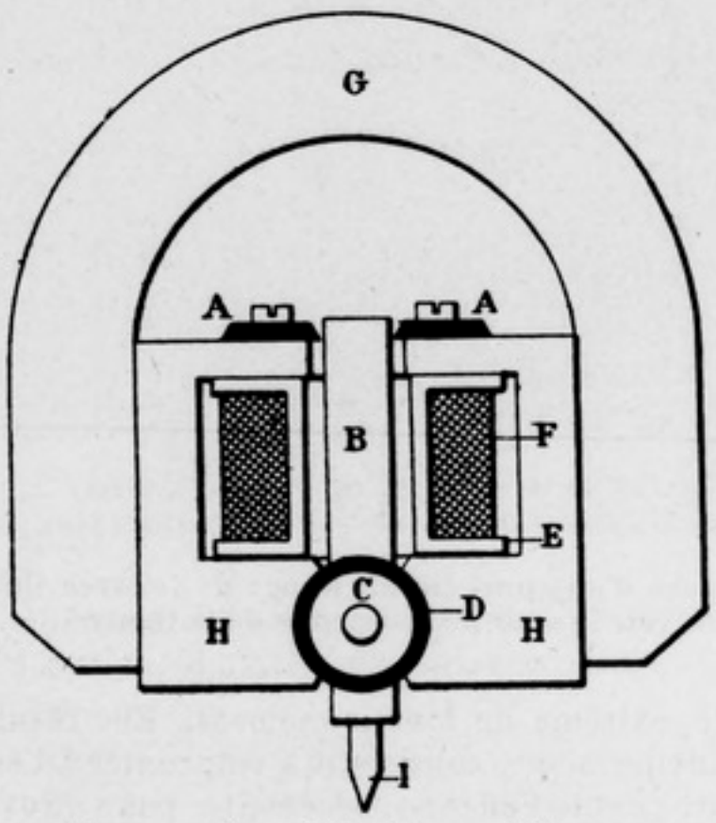


Fig. 1. — Vue schématique « pick-up ».

développe un champ magnétique permanent entre les deux pièces polaires H ; une armature en fer doux articulée en C porte l'aiguille I d'un phonographe qui suit le sillon tracé sur les disques. Entre les pièces polaires H, et autour de la pièce B, est enroulée une bobine EF qui sera le siège de courants induits par les variations du flux auxquelles donneront lieu les vibrations de l'armature B ; ces courants reproduiront, par l'intermédiaire d'un haut-parleur, les sons enregistrés sur le disque. Inversement, si la bobine EF est parcourue par un courant variant sous l'action d'un microphone, l'armature suivra ces variations et les transmettra à l'aiguille qui sera alors une aiguille inscriptrice.

Pour réaliser des films sonores avec ce dispositif, on peut accoupler l'arbre de rotation du disque avec celui d'entraînement de la pellicule cinématographique ; les amplificateurs reliés à la bobine EF simplifient le problème soit de l'enregistrement, soit de la reproduction du son. Toute influence de bruits parasites est évitée par les amortisseurs en caoutchouc figurés en A et D.

3. Dispositif Gaumont-Petersen-Poulsen. — 1° *Enregistrement des sons.* — Le système électromagnétique assurant la transformation de l'énergie est constitué ici par un galvanomètre bifilaire (fig. 2), analogue à l'oscillographe de M. Blondel ; la fréquence de vibrations de l'équipage mobile atteint 8 000 p : s. Le circuit du galvanomètre est parcouru par le courant amplifié qui varie sous l'action d'un microphone ; ce courant agit sur l'équipage mobile muni d'un miroir ; on remarque qu'étant donné sa faible inertie, le système mobile peut suivre toutes les variations du courant,

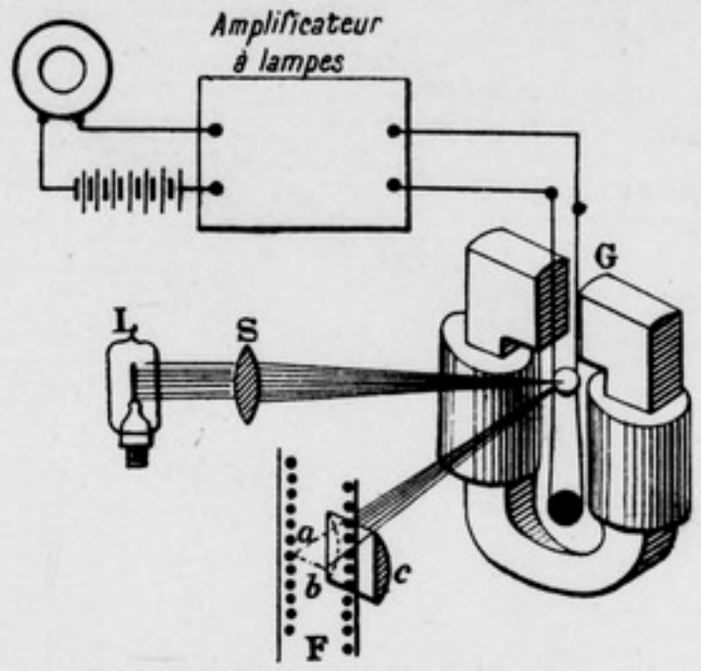


Fig. 2. — Schéma de l'enregistrement sonore du système Gaumont-Petersen-Poulsen.

la fréquence de vibration propre de 8 000 p : s correspondant aux sons les plus aigus. Le miroir réfléchit sur la pellicule le faisceau lumineux issu de la source L, concentré sur ledit miroir par la lentille S ; la lentille cylindrique C a pour effet de réduire la section du faisceau lumineux après réflexion. Le système d'enregistrement sonore est évidemment solidaire de l'enregistrement des vues ; le plus souvent l'appareil de prise de vues et le microphone sont près du sujet ou de la scène, tandis que l'enregistrement sonore a lieu dans une pièce voisine du studio ; le synchronisme est assuré par le fait que les deux dispositifs d'enregistrement, sonore et cinématographique, sont commandés chacun par un petit moteur synchrone triphasé, les deux moteurs étant alimentés par le même courant triphasé.

2° *Reproduction des sons.* — La pellicule sur laquelle est enregistré le son se déroule comme la pellicule cinématographique et en même temps qu'elle ; on conçoit d'ailleurs la possibilité de réunir les deux bandes, sonore et cinématographique, en une seule. « C'est chose faite aujourd'hui, écrit M. Soulier. On réalise actuellement des pellicules portant les vues habituelles et, en marge, un tout petit tracé qui correspond aux sons ». Mais la bande sonore, au lieu de passer comme l'autre entre une porte et une contre-porte, glisse sur une pièce arrondie portant en son milieu une mince fente horizontale éclairée par une lanterne de projection ordinaire, les rayons étant concentrés sur la fente. L'image de la fente plus ou moins obscurcie par le passage des dentelures de la pellicule est reprise par un objectif et projetée sur une cellule de sélénium. Celle-ci est traversée par un courant continu dont l'intensité varie avec la résistance du sélénium, celle-ci variant également avec son éclairement : ce courant est amplifié et transformé en son dans le haut-parleur.

On peut remplacer la cellule de sélénium par une cellule photoélectrique : néamoins, cette dernière solution nécessite une plus grande amplification de courant, soit un amplificateur à quatre étages, au lieu de deux étages qui suffisent pour le « pick-up » et la cellule de sélénium. — A. C.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

L'évolution économique et sociale de l'industrie houillère depuis 1914

La séance du 10 janvier 1930 de la Société des Ingénieurs civils de France a été consacrée à la lecture des discours du président sortant, M. Albert Moutier, ingénieur en chef des services techniques de la Compagnie du Chemin de fer du Nord, et du président entrant, M. Ernest Cuvelette, directeur général des Mines de Lens. Suivant l'usage, M. Moutier a tout d'abord rappelé les faits qui ont marqué l'activité de la société pendant l'année 1929 ; puis, en sa qualité de président de la Commission des grands Travaux, il a exposé quelques-uns des problèmes que soulèvent, d'une part, l'accroissement continu de la population parisienne, d'autre part, la suppression des passages à niveau, suppression qu'il conviendrait de ne pas étendre aux traversées à niveau des embranchements desservant des établissements industriels ; en terminant, il a fait ressortir le rôle de premier plan joué par son successeur dans la reconstitution de notre industrie houillère. — Le discours de M. Cuvelette constitue un exposé des plus clairs d'une question intéressant à un haut degré tous les consommateurs de charbon, autrement dit, la presque totalité des chefs d'industrie et tout particulièrement les producteurs d'énergie électrique au moyen de la vapeur. Aussi reproduisons-nous ci-dessous ce discours.

I. **La situation présente de l'industrie houillère.** — Tout d'abord, quelle est la situation de l'industrie houillère dans le monde. Elle résulte du tableau ci-après (en millions de tonnes) :

	1913	1928
Europe.....	644	651
Etats-Unis.....	517	517
Autres pays producteurs...	94	137
	1 255	1 305

Ce qui en ressort tout d'abord, c'est la faible augmentation de l'extraction houillère depuis 1913, à peine 4 pour 100. De 1886 à 1913, la consommation mondiale avait progressé de 4 pour 100 par an ; le progrès en quinze ans n'est donc seulement que celui qui était réalisé en un an avant-guerre.

Sans doute, l'excessif développement des fabrications de guerre, en arrêtant tout autre développement industriel pendant les hostilités, les graves perturbations économiques qui suivirent la guerre, ont leur part dans ce ralentissement de la demande de charbon ; mais il y a eu à cela d'autres causes : l'augmentation de la consommation de pétrole ; le développement des forces hydrauliques ; les progrès réalisés dans l'utilisation du charbon et de la vapeur.

Estimée en valeur charbon, la production mondiale d'énergie est passée de 1 370 millions de tonnes en 1913 à 1 656 millions en 1927. Sur le total, la part du charbon est de 77 pour 100 ; il reste donc, et de loin, la source principale d'énergie. Mais dans l'augmentation, le charbon intervient pour seulement 50 millions de tonnes de pétrole et la force hydraulique, comptée pour leur équivalent en charbon, pour 226 millions.

Si on ajoute à ce dernier chiffre le montant des économies provenant de l'électrification, de l'amélioration des procédés de chauffe, c'est à quelque 400 millions de tonnes, près du tiers de la production charbonnière mondiale en 1913, que s'évalue, pour toutes causes réunies, la diminution de la demande de charbon. Et si on ajoutait à la production mondiale de charbon en 1928 ces 400 millions de tonnes représentant des substitutions ou des économies, on arriverait à trouver que la production de l'énergie comptée en valeur charbon avait augmenté d'environ 2 pour 100 par an au lieu de 4 pour 100 avant guerre. Il y aurait là un indice assez impressionnant d'un ralentissement dans l'accroissement des moyens industriels du monde, si l'on ne savait par ailleurs que les progrès industriels n'ont pas été accomplis dans l'utilisation de la vapeur et du charbon seulement, mais au moins autant, sinon plus, dans les fabrications mécaniques.

1. Comment peut-on prévoir que, dans l'avenir, les différents facteurs de la production de l'énergie varieront. Les statistiques établies par la Conférence mondiale de l'Energie, les mises à jour qui en ont été faites depuis, font ressortir la concurrence de plus en plus active que les huiles de pétrole et les forces hydroélectriques font au charbon.

Les possibilités de développement de l'énergie hydraulique apparaissent immenses. Les estimations de la puissance hydraulique pouvant être développées varient entre 380 et 445 millions de chevaux-vapeur.

Si la totalité de ces ressources était utilisée, l'économie de charbon réalisée serait de l'ordre de 2 milliards de tonnes par an, une fois et demie la production charbonnière actuelle du monde. Mais c'est là une anticipation bien lointaine ; il y faudra des siècles et, au cours actuel des choses, la dépense peut s'évaluer à 2 000 milliards de francs. Parlons plutôt de ce qui est : l'énergie hydraulique utilisée représente chaque année 85 millions de tonnes de charbon, l'équivalent des productions françaises et belges réunies.

Pour le pétrole, le temps semble devoir jouer en faveur du charbon. La Conférence mondiale de l'Energie a estimé à un peu plus de 5 600 milliards de tonnes les ressources accessibles de charbon existant dans le monde, de quoi alimenter, au taux actuel, la production de plus de

4 000 ans, tandis que les ressources mondiales connues de pétroles (10 milliards de tonnes) ne couvriraient la production (260 millions de tonnes par an) que pendant moins de 40 ans. Mais les prospecteurs découvrent constamment de nouvelles Californies, le Venézuela hier, l'Irak aujourd'hui, et les perfectionnements apportés à la technique des forages et à l'exploitation autorisent la récupération de gisements considérés comme épuisés ; l'anticipation ci-dessus est loin d'être certaine.

L'emploi du pétrole varie naturellement dans les divers pays selon les ressources de chacun d'eux et le prix du produit mis à sa disposition. L'Amérique, qui renferme 90 pour 100 des ressources connues du pétrole, l'a utilisé en 1928 pour plus de 25 pour 100 de l'énergie produite, l'Europe pour 3,5 pour 100 seulement.

En dehors de l'utilisation dans les automobiles et dans les moteurs, c'est surtout dans la marine que les progrès du pétrole ont été importants. C'est la mode du jour : 38 pour 100 des navires du monde sont construits pour utiliser le pétrole comme combustible, tandis qu'en 1914 cette proportion ne dépassait pas 3,4 pour 100; dans la marine de guerre, le changement est encore plus frappant. On jugera de l'importance de ce seul point par la diminution du charbon de soute fourni par la Grande-Bretagne et les Etats-Unis ; le chiffre est tombé de 28 millions de tonnes en 1913 à 20 millions en 1928, tandis que, pendant la même période, les fournitures de pétrole se sont élevées de 1 300 000 barrels à 57 millions de tonnes : l'augmentation correspond à 16 millions de tonnes de houille.

La chose est d'importance telle qu'une réaction a commencé à se manifester de la part du charbon menacé et que celui-ci s'efforce de reprendre la place perdue grâce à l'emploi du charbon pulvérisé, qui rend le travail des soutes presque aussi commode qu'il l'est avec le pétrole. Sans doute le volume occupé par le combustible est supérieur, mais la valeur du produit utilisé est aussi bien moindre.

2. Transposons maintenant à la France les chiffres qui précèdent.

La production de charbon de la France, dans ses limites actuelles, était de 42 millions de tonnes en 1914 ; elle a été de 52 millions en 1928. Dans l'augmentation sont intervenues principalement les houillères du Nord et du Pas-de-Calais ; malgré la terrible destruction qu'elles ont subie au cours de la guerre, elles ont augmenté leur production de 6 millions de tonnes environ.

Les houillères lorraines sont passées de 1 800 000 t à 5 400 000 t. Les autres bassins français ont fait le complément.

Comme l'avait prévu M. Reumaux en 1908, les extensions des gisements de l'ancienne France ont très peu contribué à ce développement. Sur les concessions nouvelles du Sud du Pas-de-Calais, n'ont été foncés que deux puits, dont l'un, avec un gisement de veines minces à grande profondeur, ne pourra être exploité utilement que plus tard.

Les houillères lorraines ont, au contraire, donné un appoint important d'accroissement. Il y a là un bassin d'une étendue considérable de gisement dense, malheureusement d'une seule sorte de charbon. Sa mise en valeur a été jusqu'ici retardée par les difficultés et les frais exceptionnels d'établissement des puits. Mais les progrès réalisés dans les houillères de Sarre et Moselle permettent d'envisager que les difficultés de la traversée des morts-terrains, gréseux ou aquifères, sur plus de 600 m, pourront être surmontées par l'emploi de la cimentation par tranches successives. Les frais paraissent encore fort élevés et il n'est guère possible de prévoir que le fonçage d'un seul puits dans cette région coûtera moins de 50 millions de francs, ni qu'il durera moins de cinq années.

Suivant une étude très pénétrante de M. de Peyerimhoff, la part de charbon dans la production de l'énergie produite en France s'évaluerait pour les trois principales sources d'énergie à 82 pour 100 pour le charbon, à 7 pour 100 pour le pétrole et 11 pour 100 pour les forces hydrauliques. Là se reconnaît la situation spéciale de la France, pauvre en pétrole, riche en houille blanche.

Lors de l'inauguration du barrage de Puyvalador, M. Tardieu, alors ministre des Travaux publics, indiquait et notre richesse et les perspectives d'utilisation de nos forces hydrauliques. La France possède, disait-il, une réserve hydraulique de 7 millions et demi de kilowatts, soit 10 millions de chevaux. En 1914, il y en avait 500 000 kw aménagés; il y en a aujourd'hui près de 2 millions. La différence est notable. L'équipement des forces hydrauliques avait été rendu impossible en ces dernières années par le prix de revient des travaux multiplié par 6, et le taux de l'intérêt multiplié par 2. Les allègements fiscaux et le redressement de nos finances ont permis de conjurer la crise et après être descendu au chiffre de 50 000 kw aménagés par an, on a commencé, en 1928, l'aménagement de près de 200 000 kw.

3. Faisons maintenant l'examen de la situation de l'Europe, eu égard à la production du charbon. Dans une très intéressante publication de M. l'inspecteur général des Mines, Leprince-Ringuet, je reprends le tableau ci-dessous que j'ai mis à jour et qui donne, en millions de tonnes, la production européenne en 1913 et 1928 :

	1913	1928
France	42	52
Sarre	12	13
Belgique	23	27
Pays-Bas	3	11
Allemagne (houille et lignite)	160	188
Grande-Bretagne	292	242
Pologne	41	41
Autres pays	72	77
	644	651

Les chiffres de 1928 correspondant à la période la plus difficile du marché charbonnier depuis quinze ans. L'augmentation qu'ils font ressortir n'est que de 1 pour 100, examinons-les en détail.

De 1913 à 1928, la Grande-Bretagne a diminué sa production de 50 millions de tonnes, tandis que les principaux pays producteurs de l'Europe continentale intéressés de manière directe ou indirecte par le charbon anglais (Allemagne, Pays-Bas, Belgique, France et Sarre, Pologne) ont augmenté la leur de 51 millions de tonnes. En première ligne, l'Allemagne, avec sa production de lignite, plus que doublée (166 millions de tonnes), se trouve, dans ses frontières d'après guerre, avec une extraction augmentée de 28 millions de tonnes. Le gain des Pays-Bas n'est pas moins impressionnant, celui de la France a déjà été signalé.

La grande crise charbonnière d'après-guerre a son germe dans la situation révélée par ce tableau. La houille britannique a perdu la domination du marché mondial, et cela est une situation que l'Angleterre, pays de surproduction industrielle, pays de sous-production agricole, en raison de sa politique économique du siècle dernier, ne peut accepter, sans chercher à réagir vigoureusement.

Lorsqu'en effet sir Robert Peel, en se convertissant aux idées de Cobden, établit le libre échange, il sacrifia l'agriculture de son pays à son industrie. Jusqu'en 1914, les événements lui donnèrent raison ; en un demi-siècle l'Angleterre devint la grande manufacture du monde. Mais, pour l'équilibre de son économie, il faut que le charbon fournisse un fret d'aller, un fret payant, à ses navires qui doivent, au retour, rapporter de tous les pays qu'elle alimente les matières premières de ses ateliers et les aliments nécessaires à la vie de sa population.

La Grande-Bretagne chercha donc à reconquérir les situations perdues ; ainsi s'ouvrit ce qu'on a appelé la bataille du charbon. Cette bataille n'est pas terminée ; nous allons voir comment elle s'est développée jusqu'ici, mais déjà elle a provoqué des modifications si profondes dans la situation de l'industrie houillère, elle a causé des évolutions si surprenantes dans les esprits, qu'il est peu d'enseignements supérieurs à ceux que donne son examen.

Pour rendre plus clair un exposé nécessairement un peu complexe, je le diviserai en trois parties. La première sera le récit des efforts que dut faire l'industrie houillère britannique pour reconquérir un régime de travail et de salaires qu'une trop longue intervention de l'Etat avait profondément perturbé, la seconde décrira la bataille, la dernière dira l'évolution des esprits et la recherche des conditions de la paix.

II. **De 1918 au grand conflit britannique de 1926.** — 1. Voyons d'abord comment se répartit, entre la consommation intérieure et l'exportation, la diminution de la production britannique.

La perte de tonnage de 1928, par rapport à 1913, est, ai-je dit, de 50 millions de tonnes ; elle se répartit en 32 millions de diminution de consommation intérieure (160 millions contre 192) et 28 millions à l'exportation (96 millions contre 68), les stocks et l'importation font la légère différence. L'Angleterre a donc perdu sur les deux tableaux. A cela, un certain nombre de causes qui ne lui sont pas particulières.

Des visionnaires, ou plutôt des prévisionnaires comme Ferraro, avaient bien entrevu qu'un jour viendrait où l'Europe cesserait de fournir tous les produits fabriqués nécessaires aux besoins des pays neufs et que ceux-ci, ceux de l'Amérique du Sud hier, ceux de l'Asie aujourd'hui, ceux de l'Afrique demain, se rendraient autonomes. Ils en avaient conclu que le développement industriel de l'Europe se ralentirait, puis s'arrêterait même, qu'il y aurait à un moment pléthore de moyens de production, mais ils avaient pu penser que l'évolution serait lente, que l'adaptation aux conditions nouvelles se ferait sans heurt, sans crises violentes,

La guerre a déjoué ces prévisions ; comme les cataclysmes géologiques qui ont, en de courtes tranches du temps, modifié la face de la terre, le cataclysme de la grande guerre a, en quelques années, bouleversé les conditions économiques antérieures.

A cela plusieurs causes, dont voici au moins les principales :

Le prodigieux effort qu'ont dû faire les belligérants pour satisfaire aux demandes sans limite de leurs armées, provoquant une éclosion d'usines dont l'utilisation pour des fins de paix fut recherchée après la guerre.

La nécessité où furent les pays tributaires de l'Europe d'assurer eux-mêmes par des fabrications improvisées d'abord, puis adaptées, puis agrandies, la satisfaction au moins partielle de leurs besoins.

La politique de nationalisme économique pratiquée en tous pays, réflexe né de la guerre même.

En ce qui concerne l'industrie minière britannique, le résultat des efforts faits pendant et après la guerre, par les pays qui utilisaient son charbon, se traduit bien par l'un des chiffres que j'ai donnés plus haut. La production des pays producteurs de charbon autres que l'Europe et les Etats-Unis est montée de 94 millions de tonnes en 1913 à 137 millions en 1928. Parmi les tributaires de l'Angleterre, le Japon a élevé sa production de 21 à 32 millions de tonnes ; l'Inde, de 16 à 22 millions ; l'Australie, de 11 à 13 millions ; l'Union africaine du Sud, de 8 à 12 millions ; la Chine elle-même de 14 à 20 millions.

Mais, en outre, deux circonstances spéciales à la Grande-Bretagne ont eu pour effet de rendre chez elle la crise économique beaucoup plus grave.

La première se trouve dans le maintien, par son gouvernement, du taux de la devise nationale ; certains bons esprits pensent qu'en faisant cela, le gouvernement britannique a sacrifié son industrie nationale au pouvoir bancaire maintenu de la cité de Londres ; en stabilisant sa monnaie au pair, en lui conservant sa valeur impériale, le gouvernement britannique a enlevé à son industrie le moyen dont a joui celle des pays concurrents de trouver dans la dévalorisation de la monnaie une contre-partie à l'augmentation incessante des salaires et la possibilité de faire la stabilisation, le jour venu, à un taux qui ne compromettrait pas les les prix de revient et leur laisserait avec l'avant-guerre une relation en rapport avec le pouvoir d'achat de l'or. Une faiblesse, qui dure, de l'industrie britannique, a là son origine.

Une cause plus grave réside dans la manière dont intervint le gouvernement dans la direction des mines, prolongée — au contraire de ce qu'elle a été dans les autres pays de l'Europe, bien au delà du terme de la guerre.

Le 3 mai 1926, jour de la déclaration de la grève des mineurs, M. Baldwin proclamait aux communes l'état du péril national, en disant : « L'industrie minière a été bouleversée par le contrôle de l'Etat et elle n'a jamais réussi depuis lors à se remettre sur pied ».

Après la tutelle, librement acceptée par les propriétaires de charbonnages, d'un comité d'organisation de l'industrie minière, les mines britanniques furent, en 1916, soumises à l'autorité d'un contrôleur du charbon, qui réunit tous les pouvoirs de direction et d'administration, organisa la répartition des bénéfices d'après les comptes rendus trimestriels et mensuels de la situation financière des charbonnages, réglementa les transports de charbon, rationna la consommation domestique, taxa les prix de détail, recruta le personnel, procura les fournitures, débattit les conventions de salaires avec les fédérations de mineurs, au nom du gouvernement.

Dans une industrie dont il est de langage courant de dire qu'elle doit être dirigée « en père de famille », le contrôleur réunissait tous les pouvoirs sans avoir la responsabilité du lendemain.

C'est de cette période de contrôle que datent la limitation et la péréquation des bénéfices, l'institution d'un salaire minimum garanti, la détermination des salaires sur une base nationale. C'est aussi ce contrôle qui capitula devant toute intervention des fédérations de mineurs : en août 1917 et en juin 1918, sans égard aux catégories professionnelles, ni aux taux de salaires en vigueur, le contrôleur accorda à tous les ouvriers adultes deux indemnités uniformes de 1 shilling 6 pence par jour.

Ce contrôle dura après l'armistice ; le gouvernement bri-

tannique se trouvait alors en possession de mines que la guerre n'avait pas atteintes, de mines qu'il avait fallu maintenir pour subvenir aux besoins du pays et de ses alliés ; il jouissait, jusqu'au commencement de 1921, d'un monopole de fait qui lui permit de mettre à la charge des consommateurs étrangers toutes les exagérations de prix — celles-ci devinrent délirantes. Ce n'était pas le consommateur britannique qui payait, et dans les bénéfices réalisés l'Etat avait sa part. Le malheur — ou plutôt la justice immanente — est qu'il est plus facile d'augmenter les salaires que de les réduire et que ceux qui abusèrent ainsi d'une situation normale se préparèrent des lendemains bien difficiles.

La question des salaires fut à nouveau bien vite posée. Une commission, présidée par le juge Sankey, réunie à la demande de M. Lloyd George, proposa de les augmenter uniformément de 2 shillings pour tous les ouvriers du jour et de la surface; de réduire la journée de travail de 8 heures à 7 heures à partir du 16 juillet 1919, de la réduire à 6 heures à partir du 13 juillet 1921, si la situation de l'industrie britannique le permettait, de réduire les bénéfices jugés excessifs des exploitants, et de maintenir le contrôle des charbonnages pour assurer l'application de ces dispositions.

Toutes les propositions de la Commission Sankey furent adoptées, sauf la dernière qui ne fut pas admise par le Parlement.

Le salaire du mineur britannique s'était élevé jusqu'à 19 shillings 2 pence par poste contre 6 shillings 6 pence en juin 1914. Mais dès la fin de 1921, la remise en état partielle des charbonnages français, le développement pris par les charbonnages de l'Europe à la faveur de cette période de folie des prix, eurent pour effet de rétablir une sévère concurrence et, en deux mois, le prix des produits exportés baissa de 50 pour 100, de 83 shillings 6 pence en septembre 1920 à 43 shillings 6 pence en mars 1921.

Dès lors, le régime de la péréquation des bénéfices devint absolument illusoire; le résultat financier du premier trimestre 1921 fit apparaître une perte de 7 shillings par tonne.

Dans la période de prospérité, le gouvernement avait voulu participer aux bénéfices ; il ne manqua pas à la règle commune; il cessa d'intervenir dans l'économie houillère, quand elle se traduisit par des pertes. Le 1er avril 1921 cessa le contrôle établi en 1917 et, en même temps, le gouvernement levait les mesures de fixation des prix pour la consommation intérieure, il restituait à l'industrie nationale sa liberté.

Pratiquement, il livrait les charbonnages à eux-mêmes en pleine débâcle du marché, en leur laissant la responsabilité de leurs exploitations, avec un outillage surmené, des gisements épuisés par la production de guerre, une journée de travail plus courte d'une heure, un système de salaire national dans lequel entraient trois indemnités consolidées d'un montant total de 7 shillings et, par rapport à l'avant-guerre, un taux de salaire par tonne presque quintuplé et un rendement diminué de 20 pour 100.

Aucun exemple n'est de nature à illustrer plus complètement la désorganisation profonde résultant de l'intervention de l'État dans une industrie dont le résultat est tout entier fonction de la prévoyance, de la coordination et de la discipline.

Les conséquences ne tardèrent pas à se manifester : l'industrie minière britannique mise en présence d'une situation catastrophique dresse un plan nouveau de salaires et de répartition des produits de la mine, plan qui ne fut d'ailleurs pas accepté par les ouvriers; une première grève éclata le 1er avril 1921 pour prendre fin le 4 juillet suivant. Le salaire journalier effectif fut ramené de 19 shillings 2 pence (pendant le premier trimestre 1921) à 12 shillings 8 pence pendant le quatrième, soit une diminution de 33 pour 100.

La situation parut un moment rétablie; le rendement augmenta de 23 pour 100 et la perte de 7 shillings se transforma en un gain de 3,5 pence par tonne. Mais bien vite, la situation devint de nouveau difficile et, au mois de juin 1925, une nouvelle commission, la Commission Macmillan, dût constater la restriction des exportations, l'augmentation des prix de revient, la chute des prix de vente, la fermeture imminente de 500 mines amenant le chômage de 300 000 ouvriers, les deux tiers des exploitations en perte.

Le Gouvernement britannique conservateur, en présence d'un danger imminent de conflit, et pour avoir une impression d'ensemble sur la question, constitua à cette date une commission d'enquête, la Commission Samuel. En attendant ses conclusions, il accorda aux exploitants les subventions nécessaires pour le maintien des salaires, au prix d'un subside qui ne devait durer que neuf mois, qui dura en fait un peu plus d'un an (jusqu'au 1er mai 1926) et qui coûta au Trésor britannique 3 milliards de francs. Le subside était de 3 shillings par tonne extraite pour l'ensemble de la Grande-Bretagne et de 4 shillings dans certains districts exportateurs.

Le rapport de la Commission Samuel constitue un document capital pour la connaissance des conditions de l'exploitation britannique et des causes de la crise qu'elle traversait. Trois vices principaux appelaient, selon ce rapport, une réforme profonde : la dispersion extrême des entreprises découlant surtout du régime de la propriété minière; l'exagération corrélative des dépenses d'exploitation et des pertes de temps : le coût excessif des tarifs de transport, de distribution et de vente. C'est la première fois que j'ai vu apparaître, dans la littérature, le mot anglais de « efficiency ».

La Commission conclut à améliorer la contexture des entreprises minières par disparition du système archaïque et anti-économique des « royalties », à regrouper les entreprises, à constituer des associations corporatives de vente des produits, surtout dans les districts d'exportation.

Le Gouvernement, en possession du rapport de la Commission Samuel, décida d'accepter ses conclusions et de proposer des modifications de la législation en conséquence. Les accords avec les ouvriers ne purent s'établir et la grève général éclata en mai 1926.

La grève anglaise de 1926, déclenchée le 3 mai, dura avec des alternatives diverses jusqu'en fin novembre; elle se termina par la défaite complète de la Fédération des Mineurs.

C'est certainement l'événement économique et social le plus important de l'après-guerre. Il eut et aura des conséquences profondes sur l'évolution de notre temps.

Trois ordres de faits suffiraient à les caractériser :

La grève fut la plus puissante tentative de l'Internationale rouge pour déclencher la révolution mondiale. La circonstance et le lieu étaient bien choisis : l'arrêt de la production de charbon est ce qui peut le plus toucher un peuple dans ses conditions d'existence, et il était de notoriété que les dirigeants des mineurs britanniques obéissaient à l'influence de Moscou. L'insuccès complet des projets de l'Internationale rouge fut affirmé par Boukharine lui-même.

La réaction de la nation britannique contre les actes qui mettaient sa vie en jeu fut d'une fermeté admirable; elle montre qu'un peuple qui ne s'abandonne pas trouve en soi,

dans les circonstances les plus graves, les moyens de sa défense et de son salut.

La collectivité si puissante des ouvriers mineurs qui avait cru pouvoir compter sur la capitulation du peuple britannique vit, en fin de conflit, ce peuple assurer sa conservation par des mesures qu'il prit contre les manœuvres coercitives qui l'avaient visé; la plus frappante fut le vote du bill sur la réforme des Trade-unions.

La brusque perturbation se produisit après la fin de la grève, lorsque l'industrie britannique chercha à recouvrer sa position dominante dans le monde.

Quelques chiffres permettent de se faire une idée de ce que fut le conflit : le manque à extraire a été de 117 millions de tonnes, 146 millions de journées ont été perdues dans les charbonnages, la perte des salaires correspondante a été de 75 millions de livres; en dehors des mineurs, 700 000 chômeurs de plus qu'en période normale et une perte de l'économie britannique évaluée, suivant les avis, de 70 à 75 milliards de francs. Qu'on rapproche ces derniers chiffres de celui des dommages de guerre supportés par la France envahie, et on aura une idée de l'énormité de ce conflit ouvrier dont les répercussions ont atteint le monde entier, bouleversant tous les transports, affectant les frets et même le prix de la vie sur les points les plus éloignés du globe.

Qu'a obtenu l'industrie minière dans le résultat de ce vaste conflit?

En premier lieu, la suppression des accords nationaux de salaires;

Plus de minimum valable pour l'ensemble du territoire;

Des salaires minima par district, des salaires de subsistance pour les ouvriers les moins payés, avec abaissement des chiffres minima;

La prolongation de la journée de travail d'une heure dans les districts d'exportation et, pour l'ensemble du pays, de quatre heures et demie par semaine;

Une diminution de 10 pour 100 des salaires;

Le retour à l'ancienne règle de répartition du produit net des exploitations (85 pour 100 aux salaires, 15 pour 100 au capital, ou 87 et 13 pour 100 selon les bassins, avec assouplissements possibles).

Et, fait non moins important, le désarmement de la Fédération des Mineurs, déchue de son rôle de négociateur sur le plan national et diminuée d'autant dans sa puissance.

III. **La bataille européenne du charbon**. — 1. Le croisement du fer. — Par cette terrible épreuve, les houillères britanniques avait fait la réorganisation de leur régime de travail, je ne dis pas la réadaptation du taux des salaires de leurs ouvriers.

Le redressement de la situation des charbonnages britanniques fut extrêmement rapide, beaucoup plus rapide que nous ne l'avions prévu. La fin de la grève est de fin novembre 1926; dès le premier trimestre de 1927, les charbonnages britanniques produisaient 66 millions de tonnes, un peu plus que dans le trimestre correspondant de 1926, et à 100 000 t près, le tonnage exporté rejoignait déjà le chiffre du début de 1926. Le production de 1925 fut surpassée, 255 millions au lieu de 247.

La grève de 1926 avait provoqué un formidable développement de l'extraction des autres pays et ceux-ci entendaient, eux aussi, maintenir leurs positions. Or, le seul excédent d'exportation sur 1925 des producteurs continentaux avait permis de compenser au bas mot les trois quarts du déficit de l'exportation britannique, 33,5 millions de tonnes contre 41,5 millions en 1926. En particulier, la Pologne était devenue l'un des principaux exportateurs de l'Europe.

La statistique de la production européenne en 1925 et 1927 est tout à fait instructive :

	1925	1927
	millions de tonnes	
Grande Bretagne	247	285
Pologne	29	38
Allemagne	164	187
France	47	52
Pays-Bas	7	7,5

Les exploitants britanniques, confiants dans leur régime de travail restauré, avaient cru possible de reprendre toutes les positions qu'ils avaient momentanément perdues, à coup de baisses massives, en vendant partout davantage et moins cher que les concurrents les plus favorisés. Ils durent bien vite déchanter.

Sous l'effet d'une concurrence exacerbée, les prix de vente baissèrent de janvier 1927 à janvier 1928 de plus de 5 shillings; la chute fut d'autant plus profonde que les offres surabondantes tombaient, pendant la période de dépression industrielle, sur un marché en plein marasme; bien vite les mines britanniques connurent des pertes supérieures à celles de 1925. Celles de l'année furent de l'ordre de 1 500 000 livres et les chômages réapparurent : 240 000 mineurs chômaient en fin 1927. Pour ceux qui travaillaient, le nombre de postes chômés pour difficultés et manque de débouchés était passé de 9,61 à 12,55 pour 100.

L'excellence du charbon anglais, les conditions exceptionnellement favorables de son gisement, ne suffisaient donc pas pour permettre de reprendre les marchés perdus; la crise n'était donc pas terminée.

« Le chômage, a dit le « Times », n'est que le symptôme d'un ajustement imparfait de l'industrie aux conditions mondiales qui ont changé trop rapidement pour que l'industrie ait encore eu le temps de s'y adapter ».

A nouveau, les Britanniques font le point. Ils furent frappés bien vite du relèvement surprenant de l'industrie minière allemande. Le rendement moyen y était en 1913 de 914 kg; il était tombé en 1922 à 632 kg. Dans le troisième trimestre de 1927, pendant la pleine crise européenne, il était de 1 125 kg, soit 20 pour 100 de plus que le rendement des mines britanniques. Tout le monde chercha comment avait été obtenu ce résultat. C'est alors que parut, dans notre terminologie économique, un mot nouveau : la rationalisation, du mot allemand : rationalisiren.

2. La rationalisation industrielle en général. — La rationalisation a été définie de façons assez diverses. A la rapporter à ses éléments principaux, on peut dire qu'elle comprend, aux différents plans de la production : l'organisation rationnelle du travail, celle de la fabrication, la réglementation de la production et des ventes et la constitution financière des affaires.

L'organisation rationnelle du travail s'entend surtout de la taylorisation.

Tayloriser, c'est faire l'étude méthodique des divers mouvements nécessaires pour l'exécution d'un travail déterminé, c'est adapter ces mouvements à la conformation musculaire de l'ouvrier pour diminuer sa fatigue, et c'est encore rechercher la meilleure nature de l'outil, sa meilleure forme et c'est enfin remplacer, partout où cela est possible, le travail musculaire par le travail mécanique.

A un plan un peu plus élevé, cela s'entend de la coordination des différents travaux nécessaires pour arriver à un

produit défini. Dans cet ordre d'idées s'établit ce que les Américains appellent le « correct timing », c'est-à-dire la coopération réglée à la seconde de tous les ouvriers dont les travaux doivent s'enchaîner. C'est ce qu'en France on appelle le travail à la chaîne, en Amérique le travail au conveyor, en Allemagne le travail au ruban courant. C'est la production en séries de fabrication au moyen d'un travail ininterrompu. On en attribue souvent la paternité à Ford ; trente ans avant lui exactement, le même système et la même idée étaient déjà appliqués dans les célèbres abattoirs de Chicago. Ford intervint dans cette affaire un peu comme Parmentier, à titre de vulgarisateur.

Cela consiste aussi à standardiser, c'est-à-dire à réduire le nombre de modèles ou de nature d'objets, et, par suite, à diminuer l'importance des approvisionnements de matières premières, des stocks de produits finis, à diminuer aussi le coût de l'outillage, à diminuer enfin les frais généraux.

L'organisation rationnelle de la production et des ventes est matière essentielle de la rationalisation. L'industrie doit produire dans l'ordre, vendre dans l'ordre. Produire dans l'ordre, c'est adapter la production à la demande de la consommation, éviter les installations, l'outillage surabondant qu'on ne peut utiliser entièrement, rendre disponible le personnel qui est consacré. Vendre dans l'ordre, avec unité de commandement, renoncer aux méthodes anarchiques de concurrence, qui annihilent les efforts de l'industriel pour améliorer le prix de revient et ceux de l'ouvrier pour augmenter son rendement.

Rationaliser les entreprises, c'est, enfin, fusionner des entreprises similaires pour y supprimer les doubles emplois, associer deux ou plusieurs usines pour y utiliser au maximum les moyens de production maintenus en marche, arrêter une mine pauvre, une usine vieillie ou démodée pour en affecter le personnel à une mine riche, à une usine mieux équipée. C'est opérer par concentrations verticales d'industries qui dépendent l'une de l'autre depuis la matière première jusqu'au produit fini, ou horizontales d'industries similaires.

3. La rationalisation dans la Ruhr. — Les ingénieurs qui ont visité la Ruhr à diverses reprises ont attribué les remarquables résultats que j'ai rappelés tout à fait en première ligne à la restauration de la discipline et de l'ardeur au travail ; les habitudes de négligence prises pendant la guerre et pendant les troubles politiques de l'après-guerre, en particulier pendant l'inflation, ont été durement pourchassées et, sous l'effet moral de renvois massifs pratiqués, une discipline de fer, qu'on peut seulement appliquer dans ce pays, a été imposée.

L'amélioration des méthodes d'exploitation, l'allongement et la concentration des tailles, l'organisation rationnelle des transports y ont aussi contribué ; par contre, des causes souvent invoquées, abandon des veines d'exploitation difficile ou économiquement inférieure, ont été relativement peu agissantes et souvent n'ont été que temporairement appliquées.

La mécanisation — encore un néologisme — c'est-à-dire l'extension et l'amélioration de l'outillage mécanique n'a pas eu les effets qu'on lui attribue souvent. Le développement des moyens mécaniques a été cependant considérable ; il s'est poursuivi d'année en année. En 1924, d'après les indications fournies par le directeur général Hold, d'Essen, 25 pour 100 seulement de l'extraction s'obtenaient dans la Ruhr à l'aide de procédés mécaniques ; en 1925, la proportion fut de 51 pour 100, en 1926 de 70 pour 100, en 1927 elle s'est élevée à 85 pour 100, ce qui est bien davantage que dans les charbonnages américains qui passaient jusque-là pour les mieux équipés du monde.

Il est même apparu aux yeux d'ingénieurs qu'il y avait eu excès dans l'emploi de ces moyens mécaniques, souvent utilisés dans des chantiers où le travail de l'ouvrier permettait d'obtenir un rendement égal. Mais surtout, on s'aperçut que les frais annuels d'entretien de cet outillage mécanique avaient été tellement augmentés, qu'ils étaient devenus à peu près égaux à la moyenne mensuelle des frais de main-d'œuvre, comprenant les salaires, les suppléments, les prestations sociales.

Pour une production annuelle de 108 millions de tonnes, correspondant à 127 pour 100 de celle de l'année 1924, les frais de machines et de main-d'œuvre, non compris les traitements des employés, s'étaient élevés à 147,7 pour 100.

Les frais de main-d'œuvre par tonne auraient dû, les salaires étant supposés inférieurs, descendre de 8,75 marks à 6,87 ; en réalité, ils étaient montés à 9,44 marks, sous la double influence des salaires ouvriers et de l'élévation des frais de machines.

On comprend par suite les réflexions faites par la délégation des directeurs des Midlands visitant la Ruhr : « Les points qui nous ont le plus frappés, dit l'un d'eux, sont tout d'abord l'esprit de solidarité que tout respire ici, et ensuite l'importance des capitaux qui, selon du moins les idées anglaises, sont inutilement immobilisés ».

Pareille réserve ne pouvait être faite en ce qui concernait la concentration industrielle dans cette région, et à l'organisation de la réglementation de la production et des ventes.

Une douzaine d'entreprises contrôlent dans la Ruhr les quatre cinquièmes de la production houillère ; de bons esprits pensent même que l'importance des affaires y dépasse fréquemment le pouvoir de direction d'un homme.

Qu'on compare cette situation à celle de l'industrie houillère britannique, telle qu'elle ressort du rapport Samuel. En 1924, il existait en Grande-Bretagne 1 400 entreprises houillères différentes possédant 2 481 mines ; un grand nombre employaient moins de 50 hommes, peu en occupaient plus de 300. En 1923, sur une production disponible pour la vente de 253 millions de tonnes réalisée par 653 entreprises et représentant 95 pour 100 de la production globale, 207 avaient extrait entre 5 000 et 200 000 t, fournissant 26 millions de tonnes ; par contre, 44 entreprises produisant chacune de 1 à 2 millions de tonnes avaient fourni 60 millions et gagné 2 shillings 55 pence par tonne et 9 entreprises produisant plus de 2 millions de tonnes avaient fourni 225 millions de tonnes et gagné 3 shillings 15 pence par tonne.

Aucun exposé ne pourrait mieux faire ressortir les inconvénients d'une dispersion extrême des entreprises découlant surtout du régime de la propriété minière et l'exagération corrélative des dépenses d'exploitation et des pertes de temps.

Aucune réserve non plus ne pouvait être faite et n'a été faite sur l'organisation des ventes. Le Kohlensyndicat qui en est chargé groupe, en raison même de la loi de 1919, les industries similaires d'une même circonscription administrative, l'Oberbergamtsbezirk. Il contrôle la production des mines, il fait toutes les ventes, c'est la plus ancienne et la plus évoluée des organisations de cet ordre, il en est à sa trente septième année.

Reportons-nous encore au rapport Samuel pour trouver les éléments de la comparaison avec les mines britanniques. Côté transports : un parc de 700 000 wagons, dont 520 000 wagons privés appartenant à 10 000 propriétaires différents. Côté ventes : 27 000 commerçants de détail ; situations que, dans un but politique, le Labour Party avait signalées dans sa résolution votée à Birmingham le 5 octobre 1927.

4. Dumpings et mesures d'ordre national. — La situation des adversaires ainsi définie, voyons comment s'engagea la bataille. Tout de suite, le Kohlensyndicat se mit en situation de combat.

Jusqu'en décembre 1926, il attribuait à ses adhérents des quote-parts distinctes de vente dans les régions contestées et dans les régions non contestées; l'Umlage, pour chaque tonne vendue par ses soins, variait suivant la destination des tonnages écoulés. Fin 1926, aussitôt la fin de la grève anglaise, le Kohlensyndicat supprima la discrimination entre les contingents de vente à l'intérieur et à l'extérieur; en mai 1927, l'Umlage fut unifié, atteignant également chaque tonne, qu'elle travaillât pour l'intérieur ou pour l'exportation. Pratiquement, la répartition uniforme de la totalité des ventes sur l'ensemble des adhérents permit de faire payer par toutes les pertes encourues sur les seuls marchés d'exportation et l'Umlage, qui était en mars 1927 de 0,40 mark pour les ventes à l'extérieur et 0,15 mark pour les ventes à l'intérieur, fut porté en mai à 0,56 mark pour l'ensemble des ventes, en septembre à 1,38 mark, puis successivement à 2,20 marks et 2,40 marks, son taux actuel. On aura une idée de l'importance des moyens de combat ainsi constitués, en se rappelant que la Ruhr produit plus de 100 millions de tonnes et qu'à 2,40 marks, l'Umlage se monte à 1 500 millions de marks.

Les Britanniques, en ordre dispersé, en rangs désunis, reçurent et rendirent coup pour coup, les dents serrées. Ils acceptèrent de supporter des pertes d'exploitation qui furent de l'ordre d'un million et demi de livres par an. Cela ne pouvait durer, et malgré l'esprit traditionnaliste de ses exploitants, ils envisagèrent d'abandonner une part de leur liberté industrielle et commerciale, de se plier à un régime de contingentement, et les grands bassins exportateurs cherchèrent à réduire leurs frais de vente en créant des organisations commerciales, sous des formes diverses.

Un effort beaucoup plus considérable fut fait par les bassins du centre sous la puissante impulsion de l'un de leurs directeurs, M. Archer. La grande majorité des exploitants des cinq bassins des Midlands se groupèrent en une organisation de réglementation de la production et de service des ventes, s'inspirant partiellement de ceux du Kolhensyndicat.

Sur chaque tonne extraite par ces mines fut fait un prélèvement de 3 pence à la tonne, portant sur un tonnage de 80 millions de tonnes, représentant par suite 120 millions de francs et permettant d'accorder, pour toute tonne exportée, un subside pouvant monter jusqu'à 5 shillings.

L'organisme de lutte constitué était similaire à l'organisme rhénan, sa puissance combative même supérieure à celle de la Ruhr, l'exportation des Midlands, qu'on se proposait de porter jusqu'à 8 millions de tonnes, ne se montant en effet qu'à 3 millions.

La Pologne, favorisée par des conditions de gisement exceptionnelles — le rendement y atteint 2 000 kg — put maintenir contre la Grande-Bretagne sa situation dans les Pays du Nord de l'Europe, à la faveur d'un tarif ferroviaire, pour le port de Dantzig, exceptionnellement bas, tarif de 3,5 centimes par tonne-kilomètre, à peine le quart de ce qui correspond à la dépense réelle de transport.

Quelle fut, au cours de la lutte, la situation des mines françaises. L'industrie houillère française fut gravement affectée par la lutte menée dans notre pays même par ces trois rivaux.

Voyons d'abord la situation respective des gisements et des conditions de travail.

Nos gisements sont bien inférieurs à ceux qu'exploitent nos concurrents; la loi française de huit heures, comptées du premier ouvrier descendant au dernier ouvrier remontant, est la plus rigoureuse du monde.

Les deux faits se caractérisent par les chiffres ci-après du rendement en kilogrammes de production nette par poste en 1928.

France	651 kg
Ruhr	1 191 »
Grande-Bretagne	1 070 »

Aussi, bien que la France soit déficitaire, dans sa production, de 25 à 30 millions de tonnes, ce large manquant ne mit pas son industrie charbonnière dans un fauteuil confortable; c'est plutôt le contraire qui fut vrai. Son marché attire en effet tous les pays à production excédentaire de l'Europe occidentale. Beaucoup de raisons pour cela, la situation de ses deux principaux bassins aux frontières mêmes du pays, le large développement de ses côtes sur trois mers, un fleuve qui conduit le charbon étranger dans son principal centre de consommation, Paris, un réseau de voies ferrées très développé qui favorise la pénétration économique des charbons belges, hollandais et allemands.

En fait, notre pays a été le champ clos de la bataille européenne du charbon.

Quelle était, au début de 1928, la situation intérieure des industries houillères participant à la lutte.

Lamentable en Angleterre. Une perte moyenne de plus de 1 shilling par tonne, beaucoup plus élevée naturellement sur les charbons exportés; un nombre de chômeurs voisin de 200000.

Pas beaucoup plus favorable en Allemagne. De 1924 à 1928, le personnel y avait été réduit de 100000 unités. La situation financière des charbonnages y fut établie dans un rapport, dit Rapport Schmalenbach, d'une commission constituée par le Ministère de l'Economie publique. La vente du charbon laissait les mines en perte, de 68 pfennigs par tonne marchande d'après le Ministère de l'Economie publique, de 1,25 mark d'après la majorité de la Commission Schmalenbach, de 40 pfennigs d'après l'expert socialiste.

En France, nous avions dû licencier 30000 ouvriers; certaines mines à conditions difficiles étaient menacées de fermeture.

La Belgique, plus exposée que nous à l'importation étrangère, la Belgique, dont l'industrie vit elle-même de l'exportation, était encore plus gravement touchée, et ce fut elle qui, ne pouvant supporter cette situation difficile, fit la première appel à la Société des Nations.

IV. **La recherche d'un régime de paix.** — 1. Le développement de l'esprit de discipline. — On ne peut continuer de lutter quand on n'a pas l'espoir de vaincre et que chacun, en luttant, perd chaque jour un peu de sa substance. Des idées d'entente durent donc se faire jour, bon gré, mal gré. Et dans les esprits peu à peu s'établit le sentiment que la lutte ne pouvait se terminer que par un accord définissant les conditions de la paix houillère.

Pour cela il était nécessaire que les grands industriels se soumissent à la discipline corporative; or la discipline n'est pas une vertu innée, elle oblige chacun à sacrifier dans une certaine mesure ce qu'il considère comme un droit naturel. Lorsqu'une entente internationale, visant à mettre en harmonie la production et la consommation d'une substance quelconque, a fixé le quantum de production de chaque pays, il faut que les fabricants de chacun de ces pays se restrei-

gnent mutuellement pour ne pas dépasser ensemble le chiffre qui leur est attribué.

L'esprit de discipline est fonction du caractère des intéressés. En Allemagne, la tendance naturelle des esprits porte à l'agrégation des efforts, à l'observation d'un mot d'ordre, à l'obéissance, en un mot.

Dans les pays latins où domine l'esprit individualiste, en Angleterre, pays de liberté, cette discipline est consentie moins allègrement.

Nécessité venue, il faut pourtant bien s'y plier.

« La discipline matérielle et morale, a dit le maréchal Foch, peut seule assurer les victoires de la paix comme elle assura celles de la guerre. »

2. L'appel a Genève. — Par ses résolutions du 24 septembre 1925 tendant à la réunion d'une Conférence internationale, l'assemblée de la Société des Nations s'était déclarée fermement résolue à rechercher tous les moyens capables de faire régner la paix dans le monde et avait affirmé sa conviction que la paix économique participerait grandement à assurer la sécurité des peuples.

Elle avait insisté en même temps sur la nécessité d'examiner les difficultés économiques qui s'opposent au rétablissement de la prospérité générale, ainsi que de mettre en lumière les meilleurs moyens de surmonter ces difficultés et d'éviter les conflits. Elle constitua pour cela une Conférence économique internationale qui se réunit à Genève le 1er mai 1927, et chargea elle-même un Comité économique d'étudier spécialement les solutions à apporter aux problèmes les plus urgents, celui du charbon en particulier.

Saisi de la demande belge, ce Comité convoqua à Genève des experts patronaux et ouvriers qui se réunirent séparément d'abord, puis ensemble, afin de rechercher les solutions du problème posé. La première solution à étudier parut être celle de la formation d'ententes industrielles pour faire cesser tous les désordres résultant de l'anarchie dans la production et dans la vente. Il fallait harmoniser la production et la consommation, mettre de l'ordre là où régnaient auparavant un gâchis et une concurrence effrénés. Le problème ne parut pas insoluble puisqu'il avait déjà reçu des solutions complètes ou partielles dans des cas définis, celui de l'acier par exemple.

Tout le monde reconnaît aujourd'hui l'efficacité de ces ententes, certains gouvernements les préconisent, les délégués ouvriers en reconnaissent eux mêmes l'utilité.

Les exposés faits devant le Comité économique ont donné lieu à un rapport préliminaire du 12 avril 1929, les propositions mises en avant se rattachent à plusieurs ordres d'idées. On a proposé : *a*) De conclure des ententes internationales entre producteurs, pour ce qui concerne la production, les marchés et les prix ; *b*) D'établir une organisation internationale où seraient représentés tous les intérêts : gouvernements, producteurs, mineurs, négociants et consommateurs ; *c*) De prendre des mesures pour assimiler, sinon pour égaliser les salaires, les heures et les conditions sociales de travail ; *d*) D'abolir les restrictions artificielles apportées au commerce du charbon, ainsi que les stimulants artificiels de la production.

La discussion de ces propositions est en cours.

J'y ai participé. Il ne serait pas correct de ma part de paraître préjuger des solutions qui interviendront. J'y reviendrai plus tard. Je voudrais seulement présenter une observation générale et deux observations particulières.

La première concerne l'esprit dans lequel les propositions sont présentées à Genève. M. Loucheur, le 7 mai 1929, a bien fait ressortir qu'en les faisant, chaque pays vise surtout les moyens des pays concurrents. « Le Comité consultatif a, dit-il, voté des résolutions contre le dumping, or les dumpings existent partout sous les formes les plus variés et les plus ingénieuses, et l'habileté de ceux qui s'en servent peut, sans désavantage, être comparée à celle que déploient les contrebandiers pour éviter la vigilance des douaniers ». Il ajoutait : « Des résolutions ont été votées également en ce qui concerne le tarif douanier et, ce soir même, un projet de loi sera discuté à Washington, qui prévoit une augmentation considérable des droits de douane aux Etats-Unis ».

Il peut être bon de faire appel à Genève, mais il ne faut pas manquer d'y défendre sa situation.

3. La question des conditions de travail. — C'est la question visée sous le paragraphe *c*) ci-dessus. Etudiée de façon imprudente, elle serait de nature à apporter les perturbations les plus graves à la situation des charbonnages du Continent, de la France en particulier. Il est bien évident que la médiocre qualité du gisement français ne permet pas à nos houillères de supporter les charges que peut supporter la houillère britannique.

M. Loucheur a dit à Genève : « Il faudra toujours compter avec la tradition, qui fera qu'une famille, au cours des temps, ne se résoudra pas à ne pas ensemencer en blé un terrain qu'ont ensemencé en blé les générations précédentes. De telles traditions sont plus fortes que la législation ».

Dans le même sens, j'ai dit que si le rendement à l'hectare des pays agricoles du centre était inférieur à celui de la Beauce ou des Flandres, ce ne serait pas un motif suffisant pour empêcher le paysan du Berry ou celui de l'Aquitaine de continuer à le cultiver.

Les conventions de travail ne peuvent être basées que sur des conditions locales, régionales ou nationales : le coût de la vie, la nature du gisement, l'économie particulière d'une région, la situation économique d'un pays, sa balance commerciale.

4. La question des industries-clés. — Une autre considération se trouve dans la question des industries-clés. On a appelé industries-clés celles qui sont indispensables à un pays pour assurer son indépendance économique et militaire. Une nation a le droit de considérer comme nécessaire l'existence sur son sol, même si elle n'y trouve pas les conditions économiques optima, d'un minimum d'industries essentielles, sans lesquelles son indépendance serait d'avance en péril.

L'industrie des colorants est de celle-là. Lord Melchett dans son livre (la Politique de l'Industrie) fait remarquer que pendant la dernière guerre, l'Angleterre fut gravement handicapée de ce qu'elle ne pouvait fabriquer artificiellement du nitrate d'ammoniaque. L'industrie houillère, plus encore que l'industrie des colorants, est essentiellement de ces industries-clés.

Les houillères d'un pays sont la pierre angulaire de son indépendance économique dans la paix ; elles sont dans la guerre la pierre angulaire de sa défense. L'armée allemande le savait bien, qui voulut détruire nos mines du Nord et du Pas-de-Calais et qui l'a fait systématiquement. Saurons-nous au moins retenir cette grave leçon de la dernière guerre.

Même chez nos concurrents les plus directs, elle est admise.

« La politique suivie par les pays du Continent européen producteurs de houille, dit M. Archer, politique dont aucune exhortation, si persuasive soit-elle, ne saurait les

détourner, consiste à développer leurs propres ressources houillères et à se rendre autonomes dans la plus large mesure possible, en ce qui concerne leur consommation de combustible.

» Toute étude de la situation houillère internationale qui ne tiendrait pas compte de ce dessein essentiel et, on peut le dire, inébranlable, conduirait à des conclusions erronées. Cette attitude a surtout été motivée par la guerre. Ces pays, durant les hostilités et quelque temps ensuite, ont été, ou bien incapables de se procurer de la houille, ou bien n'ont pu s'en assurer qu'à des prix excessifs. Cette disette enseigna aux consommateurs l'économie et les amena à considérer l'exploitation de leurs gisements houillers comme une nécessité nationale. Une telle façon de voir est tellement incarnée en eux que si de la houille britannique pouvait être importée en quantités susceptibles de satisfaire tous leurs besoins et à des prix considérablement inférieurs au prix de revient du charbon national, ils prendraient des mesures pour sauvegarder et protéger leur industrie houillère ».

Je ne saurais dire mieux et sous réserve que les conditions des ententes économiques élaborées à Genève respecteraient ce point essentiel et respecteraient aussi le travail de nos ouvriers, ce qu'il est bien légitime de demander dans un pays de production déficitaire, nous serions bien prêts à les admettre.

V. **Conclusion.** — Avais-je raison de dire, mes chers collègues, qu'aucune période de l'histoire des mines n'avait été aussi riche en enseignements, en amélioration du rendement, en leçons sociales et politiques, que celle des dix dernières années.

Sous l'empire de la nécessité, malgré les lourdes fautes de la période d'étatisation, la discipline a été partout rétablie, l'ardeur au travail restaurée. L'exploitation a été modifiée dans toutes ses parties pour obtenir le prix de revient minimum, l'emploi des moyens mécaniques poussé à ses dernières limites, peut-être même au delà de la limite rationnelle.

La consistance des affaires a été transformée de manière à disposer des moyens les plus puissants et les plus économiquement efficaces.

Le sentiment de discipline, les idées d'entente ont commencé d'être acceptés partout ; les esprits les plus réfractaires y sont venus. Comme en Amérique, les ouvriers réclament ces ententes, les gouvernements les favorisent. Le Gouvernement travailliste oblige, sous peine d'intervention directe, ses exploitants à réaliser ces ententes, ententes de bassins, entente nationale.

La Belgique les a réalisées. J'y ai entendu le roi Albert lui-même les recommander aux exploitants de son pays.

En France, nous avons commencé d'y venir. Les houillères lorraines ont réalisé leur organisation de vente, celles des autres bassins y viendront peu à peu.

Comme toujours, les difficultés auront été le sel de la vie et aussi l'aiguillon des volontés. Sans doute, il reste des divergences, différences de conception, discussions sur les modalités ; mais le scepticisme du début ne serait plus de mise.

L'idée des ententes, seule capable de mettre un peu d'ordre dans le difficile problème qui nous touche, seule capable de réduire les embauchages et les débauchages alternatifs de personnel, seule capable de donner aux houillères les ressources nécessaires pour maintenir leur matériel en état, seule capable de permettre l'amélioration du sort des ouvriers, est en train de conquérir même les esprits qui y étaient les plus réfractaires et je ne peux mieux terminer qu'en reprenant ces mots de Paul-Louis Courier : « Le coche va, mes chers amis, et ne cesse d'aller. Si sa marche nous paraît lente, c'est que nous vivons un instant. Mais que de chemin il a fait. A cette heure, en plaine roulant, rien ne peut plus l'arrêter ».

C'est sur cet acte de foi et d'espérance que je termine, mes chers collègues.

Assemblées générales

Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1929.

Le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 35 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 10, rue Vézelay, donne les renseignements suivant sur l'activité de la société pendant l'exercice se terminant au 30 juin 1928.

L'exercice 1928-1929 a été caractérisé, malgré des circonstances climatologiques défavorables, par une augmentation très sensible des recettes d'exploitation, celles-ci étant passées de 5 824 492,59 fr en 1927-1928 (1) à 7 millions 715 992,98 fr pour l'exercice 1928-1929. Ce résultat est dû en grande partie, d'abord à la production de l'usine du Baralet, qui a été en action pendant l'exercice entier, et ensuite à l'augmentation d'énergie livrée tant à la clientèle de la société qu'à la clientèle de l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées occidentales dont fait partie la société.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 16 février 1929, t. XXV, p. 270.

La vente de cette Union progresse en effet chaque année, de telle sorte que, malgré le nombre croissant de ses adhérents, la part d'énergie fournie par chacun d'eux va sans cesse en augmentant. La zone d'action de l'Union s'est considérablement étendue par suite de l'entrée en service de la ligne à 60 000 v Portet-Saint-Simon, Lantin-Saint-Victor, Lantin-Carmaux, Lantin-Turiez-Viviez, permettant d'atteindre de nouveaux débouchés importants.

La réussite de ces transmissions à longue distance a conduit l'Union à envisager de participer à la réalisation d'un vaste réseau à 150 000 v reliant le réseau des Pyrénées aux réseaux en construction ou en projet dans le Massif central et la région provençale. Devant l'importance du programme à réaliser, l'ensemble des adhérents de l'Union a été amené à créer une société anonyme, l'Union électrique des Pyrénées occidentales, au capital initial de 12 500 000 fr, qui sera à bref délai augmenté pour fournir à l'Union des fonds nécessaires à la réalisation de ce programme ; la Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe a pris dans cette affaire la participation qui lui avait été réservée, participation égale à celle de ses co adhérents.

Cette société financière nouvelle a déjà pris des partici-

pations importantes dans la création de diverses sociétés de production d'énergie tant hydraulique que thermique, dont le but principal sera la régularisation des usines hydrauliques faisant partie du système de l'Union des Producteurs. Le rapport du conseil d'administration de cette société à la dernière assemblée générale ordinaire de ses actionnaires, fait état d'une série de contrats nouveaux importants qui auront pour effet d'augmenter l'énergie vendue dans de telles proportions qu'on doit envisager la création progressive et à bref délai, en accord avec les intéressés, de nouvelles ressources en énergie.

Au cours de l'exercice le conseil d'administration de la Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe a été conduit à créer la société Centrale thermique de l'Adour, société anonyme ayant pour objet la construction d'une puissante usine électrique à Bayonne, afin de combler les creux des périodes d'étiage d'été et d'hiver. Le capital de la Centrale thermique de l'Adour a été souscrit pour 49 pour 100 par la Société minière et métallurgique de Penarroya, la Compagnie du Bourbonnais, l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées occidentales, l'Energie industrielle et pour 51 pour 100 par la Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe, en raison de sa situation de fournisseur privilégié d'énergie électrique dans le département des Basses-Pyrénées et le sud du département des Landes.

Le rapport du conseil d'administration signale encore que la Société hydroélectrique La Valentinoise, dans le capital de laquelle la société a une participation importante, a poursuivi le développement de ses réseaux de distribution dans les départements de la Haute-Garonne, Hautes-Pyrénées, Ariège et Tarn. La Société hydroélectrique est très avancée dans sa période constructive et a même déjà commencé sa période de recettes bénéficiaires, celles-ci devant croître progressivement au fur et à mesure du raccordement de ses réseaux avec ses nouveaux clients. Pour faire face aux dépenses nécessitées par son programme d'extension, son conseil s'est fait autoriser par l'assemblée générale de ses actionnaires à porter en une ou plusieurs fois le capital de 4 300 000 fr à 10 000 000 fr; une première augmentation de 1 700 000 fr a été réalisée, portant ainsi le capital à 6 000 000 fr. Son conseil a été également autorisé à émettre des obligations jusqu'à concurrence d'une valeur nominale de 10 000 000 francs dont une première tranche de 6 millions de francs a été émise.

Parmi les travaux neufs réalisés par la Société des Forces motrices de la Vallée d'Aspe, le rapport du conseil mentionne les suivants : 1° La construction à Agen, en bout de la ligne Oloron-Agen, d'une usine de secours équipée avec moteurs Diesel; on aura ainsi, avec cette usine et avec celle de l'Adour, au bout des deux grandes artères Oloron-Bayonne et Oloron-Agen, deux sources d'énergie électrique permettant, non seulement de combler les creux d'étiage, mais aussi d'assurer en cas d'accidents survenus aux lignes de transmission, la continuité des fournitures d'énergie à la clientèle, dans la région bayonnaise et dans le Lot-et-Garonne; 2° le développement des réseaux de distribution dans le Lot-et-Garonne, le raccordement de la ligne à 60 000 v Oloron-Agen avec le Gaz de Pau, et enfin, le commencement de la construction d'une deuxième ligne à 60 000 v Oloron-Bayonne.

En fin d'exercice, le conseil a procédé à l'émission de 30 000 obligations à 5,5 pour 100 de 1 000 fr, amortissables en 35 années, dont le produit a servi à achever le remboursement anticipé des anciennes obligations à 7 pour 100, le crédit à court terme qui avait été consenti par les banquiers, et pour le surplus à procurer, en partie, les ressources nécessaires à l'extension du réseau et à la prise de participations dans les nouvelles sociétés dont il est question plus haut. Aussi, le chiffre de 64 629 500 fr, qui figure au bilan comme montant des emprunts obligataires, doit être ramené à 54 871 000 fr, par suite du remboursement après clôture de l'exercice des emprunts à court terme. De même, le chiffre de 8 096 783,68 fr représentant les comptes créditeurs, doit être ramené à 3 576 578,68 fr, par suite du remboursement après clôture de l'exercice de 4 520 205 fr d'obligations anciennes.

Les produits bruts de l'exercice s'élèvent à la somme de 7 294 613,82 fr. Il faut y ajouter les produits divers, dont le produit du portefeuille, soit 477 819,53 fr; au total, 7 millions 772 433,35 fr. Il faut déduire de ce total : les dépenses d'exploitation, 1 598 093,26 fr; les frais généraux et charges financières, 2 323 055,89 fr; la part des amortissements prélevés sur le compte de profits et pertes, 500 000 fr; soit, en tout, 4 421 149,15 fr. Le solde disponible est donc de 3 millions 351 284,20 fr.

Ce solde, augmenté du report de l'exercice précédent, de 105 296,49 fr, est réparti comme il suit : réserve légale, 167 564,20 fr; dividende statutaire aux actions : 7 pour 100 sur 30 000 000 fr d'actions A libérées, 2 100 000 fr; 7 pour 100 sur 5 000 000 fr d'actions B libérées du quart, 87 500 fr; au conseil d'administration, 99 622 fr; dividende supplémentaire aux actions : 2 pour 100 sur 35 000 000 fr, 700 000 fr; dividende aux parts, 233 333,33 fr; report à nouveau, 68 561,16 fr.

Le dividende brut se trouve ainsi être de 22,50 fr par action A, de 9,375 fr par action B et de 33,33 fr par part.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Frais d'émission d'obligations	4 839 172,05
Frais de constitution, de lancement et de premier établissement	3 »
Apports, bâtiments, installations, outillage, matériel, chutes aménagées, postes de transformation	68 803 295,32
Travaux en cours et chutes non encore équipées	9 339 268,98
Portefeuille	6 077 219,90
Approvisionnements et stocks	1 103 066,22
Commandes en cours, achats	826 681,90
Caisses et banques	17 059 035,22
Compte débiteur : actionnaires	3 757 250 »
Comptes débiteurs divers	6 484 220,50
Compte d'ordre débiteur	100 000 »
	118 389 213,09

Passif.

	fr
Capital	35 000 000 »
Réserves et provisions	5 581 463,33
Emprunts obligataires	64 629 500 »
Fournisseurs	1 524 885,39
Comptes créditeurs	8 096 783,68
Compte d'ordre créditeur	100 000 »
Report de l'exercice 1927-1928	105 296,49
Profits et pertes 1928-1929	3 351 284,20
	118 389 213,09

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 7. — 15 FÉVRIER 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 1er février 1930, p. 233. — Bibliographie : Guide de l'ajusteur, par Jules MERLOT et J. DONNAY, p. 234 ; Code for electricity meters (Manuel pour l'emploi des compteurs électriques), p. 234.

Section scientifique et technique. — Quadripôles et filtres, par J.-B. POMEY, p. 235. — Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette (*suite et fin*), par Jean SILVA, p. 242. — Revues, analyses et informations : Sur l'origine de la décharge sans électrodes, p. 246 ; Sur les phénomènes manifestés par les filaments recouverts d'oxydes, p. 247 ; L'amplificateur apériodique dans la technique des mesures, p. 249 ; Effet de la lumière sur l'émission thermoionique, p. 249 ; Ions et courants dans les couches supérieures de l'atmosphère terrestre, p. 250.

Section industrielle. — Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile, par J. KOPELIOWITCH, p. 251. — Revues, analyses et informations : Interrupteurs sans huile pour de très grandes puissances, p. 262 ; Le développement de la mesure électrique à distance, p. 265 ; Progrès techniques réalisés dans le construction de turbo-générateurs de grande puissance, p. 267 ; Compensateurs synchrones en série, p. 268.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société industrielle des Téléphones, p. 269 ; Société industrielle d'Energie électrique, p. 270.

Section de législation. — Sur quelques précisions sur l'application de la loi sur les assurances sociales, p. 271 ; Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux ouvriers étrangers saisonniers, p. 272 ; Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux personnes n'effectuant qu'occasionnellement un travail salarié, p. 272 ; Sur la possibilité qu'ont les propriétaires intéressés de se substituer à la commune pour l'électrification des campagnes, p. 272.

Société française des Electriciens : Séance du 1er février 1930. — Nous avons publié dans notre dernier numéro (1) le compte rendu de la première partie des questions portées à l'ordre du jour de cette séance. Nos lecteurs trouveront dans les lignes qui suivent la suite de ce compte rendu, que le manque de place ne nous avait pas permis de reproduire intégralement.

2. DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. ROY SUR LES REDRESSEURS A VAPEUR DE MERCURE. — Rappelons que cette communication dont un compte rendu a été publié dans ces colonnes (2) avait été présentée à la séance du 4 janvier dernier de la Société française des Electriciens.

M. Lebaupin expose diverses remarques relatives à la conception des redresseurs à vapeur de mercure décrits dans la communication de M. Roy.

Selon M. Lebaupin, il paraît difficile que les joints en caoutchouc puissent donner satisfaction en exploitation, du fait que cette substance est altérable notamment aux températures élevées et en particulier à la température optimum de fonctionnement des redresseurs. Cette considération semble justifier les dispositions spéciales et complexes prises pour assurer le refroidissement des appareils décrits par M. Roy. De plus, il est très difficile avec ce système de repérer un joint défectueux, à l'encontre de ce qui se passe avec les redresseurs à joints de mercure.

Le graphite a été adopté dans la constitution des anodes ; or il n'apparaît pas que cette solution puisse donner des résultats supérieurs à ceux fournis par les électrodes métalliques en raison de l'occlusion des gaz dans le graphite et de sa conductibilité inférieure à celle des métaux.

M. Roy a indiqué qu'il était nécessaire d'ouvrir les redresseurs tous les deux ans. M. Lebaupin fait remarquer à ce sujet qu'il s'agit là d'une opération délicate en raison des soins particuliers qu'elle requiert. Enfin, dans les nouveaux redresseurs, l'allumage se fait en courant continu, ce qui est une complication du fait de la présence d'un petit redresseur auxiliaire susceptible d'être avarié et d'immobiliser ainsi le redresseur principal.

Après quelques observations formulées par MM. Darrieus et Giroz au sujet de l'emploi des anodes en graphite, M. Roy répond que les joints des redresseurs sont constitués par une matière longuement étudiée et stable à une température permanente de 60 à 80° C. Sur les 400 ou 500 redresseurs actuellement en service et pourvus de tels joints, la tenue de ces derniers n'a jamais donné lieu à des inquiétudes. De plus, les joints sont disposés de telle sorte qu'on peut les refroidir énergiquement en conservant à la masse de mercure la température optimum de fonctionnement. Pour le repérage d'un joint défectueux, comme son serrage est obtenu au moyen de quatre boulons, il suffit, si l'on constate une altération du vide, de serrer successive-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 8 février 1930, t. XXVII, p. 193-194.

(2) *Revue générale de l'Electricité*, 11 janvier 1930, t. XXVII, p. 42.

ment les boulons des joints les uns après les autres jusqu'à ce que l'on constate au vacuummètre une amélioration du vide; à ce moment le joint défectueux est localisé. Cette opération requiert toutefois une durée légèrement plus longue que dans le cas des joints au mercure.

En ce qui concerne les gaz occlus dans les anodes en graphite, M. Roy signale que quand le redresseur est formé, tous les gaz sont totalement éliminés; le graphite a donné d'ailleurs des résultats tellement satisfaisants que l'on n'a pas hésité à l'employer pour constituer les anodes des redresseurs à ampoules de verre dans lesquels pourtant il est impossible d'effectuer le pompage.

M. Roy estime qu'avec les redresseurs à joints de mercure, il est toujours prudent de procéder à des visites périodiques de l'intérieur de l'appareil afin d'enlever les dépôts, bien que des redresseurs de ce type aient pu fonctionner durant plusieurs années sans être ouverts.

Enfin, selon M. Roy, la complication de l'allumage en courant continu n'est qu'apparente du fait que cette disposition a pour but de réduire le nombre des entrées de courant dans la cuve; le redresseur auxiliaire débite 15 A sous 75 V et a une vie moyenne de 10 000 heures. L'arrêt intempestif du redresseur auxiliaire est signalé par un dispositif d'alarme et on peut remplacer l'ampoule avariée sans interrompre le fonctionnement du redresseur principal.

3. Communication de M. Nandillon. — Le conférencier définit tout d'abord le rôle du potentiomètre-phasemètre, puis énumère ses principales applications.

Le potentiomètre-phasemètre est un appareil permettant de mesurer la valeur absolue et la phase d'un courant musical quelconque en rapportant ce courant à un courant de référence de même période, choisi arbitrairement.

La valeur absolue du courant étudié est déterminée par un potentiomètre, la phase est obtenue à l'aide d'un phasemètre spécial d'où le nom de potentiomètre-phasemètre donné au dispositif.

La sensibilité du potentiomètre-phasemètre est très grande et demeure constante quelles que soient la valeur absolue et la phase du courant étudié.

En électricité, le potentiomètre-phasemètre remplace tous les modèles connus de ponts de Wheatstone à courant alternatif, il est d'un emploi plus commode et permet des mesures beaucoup plus rapides bien qu'aussi précises.

Il permet, en outre, d'étudier avec précision un nombre considérable de phénomènes électriques alternatifs qui jusqu'à maintenant n'ont pu être mesurés que d'une manière indirecte et approximative. Par exemple, les distorsions du courant primaire et du courant secondaire d'un transformateur, le rapport effectif de transformation en intensité de courant, l'angle de perte d'un circuit magnétique, etc.

En dehors du domaine de l'électricité, le potentiomètre-phasemètre est susceptible d'applications très nombreuses, particulièrement dans l'étude des vibrations mécaniques et des appareils acoustiques. Il permet de mesurer avec précision la distorsion de l'émission sonore de ces derniers en fonction de la fréquence.

En acoustique proprement dite, le potentiomètre-phasemètre permet d'effectuer de nombreuses mesures phonométriques telles que l'exploration du champ acoustique d'une salle, la détermination des coefficients de réflexion de réfraction et d'absorption d'une substance, etc.

M. Nandillon a présenté ensuite l'appareillage réalisé à ce sujet par les Ateliers J. Carpentier. — L. V.

Bibliographie : Guide de l'ajusteur, par Jules Merlot et J. Donnay (1). — L'intention des auteurs, en écrivant ce traité, n'a pas été de faire un cours complet d'ajustage et de donner la description de tous les tours de main du métier. Ils ont restreint leur cadre et ont rassemblé dans une suite naturelle les règles utiles et indispensables à une profession dont la culture, par suite de l'introduction du machinisme dans la construction mécanique moderne, tend de plus en plus à être négligée.

Les auteurs commencent par étudier les opérations préliminaires de l'ajustage comme le traçage, le burinage et le dégrossissage; ils énumèrent et décrivent les outils employés ainsi que les diverses opérations.

Le chapitre le plus important du volume traite des instruments de mesure. C'est d'eux, en effet, que dépend la perfection du travail et son prix de revient. Les auteurs indiquent les qualités qu'ils doivent posséder, la manière de les vérifier et de s'en servir correctement.

Un chapitre est consacré au travail à la lime et au finissage des pièces. L'ajustage proprement dit fait l'objet des cinq derniers chapitres dans lesquels on trouve l'étude des différentes opérations d'ajustage à la main, au point de vue de leur exécution rationnelle. Cette étude est accompagnée d'exemples pratiques pouvant servir de guide.

En résumé, on peut dire que les auteurs ont réussi à faire un véritable manuel d'une portée immédiatement pratique et il n'est pas douteux que cette deuxième édition recevra un accueil favorable auprès du public auquel il s'adresse. — I. F.

Bibliographie : Code for electricity meters (Manuel pour l'emploi des compteurs électriques) (1). — Cette nouvelle édition du Code for electricity meters complètement revisée et approuvée comme « Standard » américain par l'American Engineering Standards Committee, en juillet 1922, a été élaborée, avec l'aide et l'approbation de l'Association of Edison Illuminating Companies, de la National electric Light Association et du U. S. Bureau of Standards, par un comité représentant toutes les organisations intéressées, en accord avec les procédures établies par l'American Engineering Standards Committee pour la revision des étalons américains.

Dans cet ouvrage on trouve d'abord des chapitres consacrés aux définitions des unités électriques, de divers termes techniques, des systèmes de distribution d'énergie, des étalons primaires et secondaires.

Ensuite on passe à l'étude des compteurs et des appareils enregistreurs en général. Les règles pour la spécification et la réception des compteurs et des appareils auxiliaires, tels que les divers transformateurs, les shunts etc., sont ensuite énoncés, après quoi on indique les méthodes de location, de choix et d'installation des compteurs. Un important chapitre a trait aux méthodes d'essais des compteurs, en particulier on donne diverses formules pour les corrections. Enfin des renseignements sur les divers laboratoires et services d'essais font l'objet d'un chapitre spécial.

En résumé, ce petit ouvrage, très complet prouvera sa valeur à tous ceux qu'intéresse la mesure précise, dans un but commercial, de l'énergie électrique. — I. F.

(1) Un volume, format 24,5 cm × 16 cm, de 813 pages, avec 509 figures dans le texte, édité par la Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : relié, 90 fr.

(2) Un volume, format 23 cm × 14 cm, de 122 pages, édité par la National electric Light Association, 420, Lexington Avenue, à New-York City (Etats-Unis).

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Quadripôles et filtres

Dans cette étude théorique sur les quadripôles passifs et les filtres, l'auteur, après quelques mots d'historique, s'efforce de montrer comment les problèmes que la technique a posés au sujet des filtres, dans le cas général de cellules non symétriques, se rattachent à des théories mathématiques connues. L'itération est résolue par les formules de Lagrange ; les impédances d'entrée et de sortie sont liées entre elles par une relation homographique. Les points doubles correspondent aux impédances itératives ; le multiplicateur, au coefficient d'affaiblissement. Le diagramme des deux familles orthogonales des cercles de Poncelet permet de suivre géométriquement les variations de l'impédance de la chaîne vue des bornes d'une cellule de rang quelconque. Enfin, pour les impédances caractéristiques, les coefficients d'atténuation, les multiplicateurs ayant chacun un couple de valeurs, l'auteur précise celles de ces valeurs qui se correspondent. Il termine par une remarque relative au déterminant d'un quadripôle complexe de constitution passive arbitraire.

I. **Définition.** — Un *quadripôle* est une ligne réelle ou artificielle à double fil, qu'on suppose soustraite à l'action à distance des conducteurs voisins ainsi que des branches de transmission et de réception auxquelles elle peut être reliée par ses extrémités. Un quadripôle dans lequel ne se trouve insérée aucune source de courant est dit *passif*. Nous ne parlerons que de quadripôles passifs.

Un *filtre* est une ligne réelle ou artificielle à constitution périodique par opposition aux lignes à constantes uniformément réparties ou réparties d'une façon continue. Il est formé d'une série de quadripôles, reliés les uns aux autres de telle façon que les deux bornes d'entrée du quadripôle de rang n soient rattachées aux deux bornes de sortie du quadripôle de rang $n-1$, tandis que ses deux bornes de sortie sont rattachées aux deux bornes d'entrée du quadripôle de rang $n+1$.

Le quadripôle doit son nom à ce qu'on considère, d'une façon générale, une ligne à double fil, ayant deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie, mais les équations du quadripôle sont les mêmes, si l'on considère une ligne à simple fil et la terre. On pourrait, en effet, par exemple, compléter la ligne à simple fil en y adjoignant son image par rapport au sol et constituer ainsi un quadripôle doué de propriétés toutes semblables.

Les équations du quadripôle remontent probablement à Blavier et on les trouve dans le « Traité d'électricité et de magnétisme » de Vaschy, sous la rubrique : effet des dérivations ou pertes sur une ligne télégraphique.

Le courant i_2 entre dans la ligne sous la tension v_2 et le courant i_1 en sort sous la tension v_1 ; Vaschy donne les équations

$$\alpha i_1 = \beta_1 V_1 - A V_2,$$
$$\alpha i_2 = A V_1 - \beta_2 V_2 ;$$

on en déduit, en mettant, par symétrie de notation, de petites lettres pour les tensions

$$v_2 = \frac{\beta_1}{A} v_1 - \frac{\alpha}{A} i_1,$$

$$i_2 = \frac{A^2 - \beta_1 \beta_2}{A \alpha} v_1 + \frac{\beta_2}{A} i_1.$$

Ces équations sont de la forme :

$$\left.\begin{aligned} v_2 &= a v_1 + b i_1, \\ i_2 &= c v_1 + d i_1, \end{aligned}\right\} \qquad (I)$$

avec la relation complémentaire

$$ad - bc = 1. \qquad (I')$$

Vaschy explique que trois des quatre mesures de résistance à la terre et de résistance d'isolement, qu'on peut faire aux deux extrémités, suffisent à la détermination des trois coefficients indépendants qui restent et que l'on a

$$R_1 I_2 = R_2 I_1,$$

R_1 et R_2 étant les résistances de court-circuit, I_1 et I_2 les courants à circuit ouvert.

II. **Régime périodique.** — On attribue généralement à Kennelly l'extension de la loi d'Ohm aux courants alternatifs. En régime périodique simple, cette extension est légitime à condition de remplacer, dans les lois de Kirchhoff, les résistances par des impédances imaginaires convenables. Cependant il convient de remarquer que dans le second volume de son « Traité d'électricité et de magnétisme », Vaschy (1890) a employé constamment des résistances opérateurs de la forme

$a + b\frac{d}{dt}$, pour traiter les courants harmoniques de la téléphonie, en utilisant systématiquement les formules de réduction

$$\frac{d^2u}{dt^2} = -m^2u, \quad \frac{d^3u}{dt^3} = -m^2\frac{du}{dt}, \quad \frac{d^4u}{dt^4} = m^4u, \text{ etc.}$$

ce qui rend le calcul de ces opérateurs tout à fait analogue à celui des imaginaires. Ces problèmes avaient déjà fait l'objet d'articles séparés qu'il avait publiés les années précédentes dans les « Annales télégraphiques ».

Nous retiendrons seulement de ces premiers travaux que les équations (I) du quadripôle sont valables en régime harmonique simple, les coefficients ayant alors des expressions complexes.

Il convient sans doute d'ajouter ici quelques mots sur l'historique de la question. C'est en 1886 que l'anglais Heaviside préconisa, pour améliorer les transmissions, l'introduction dans les longues lignes d'inductances réparties de distance en distance. C'est en 1899 que le professeur Michael Pupin, Américain d'origine serbe, breveta le procédé qui consiste à faire la répartition de ces inductances à des intervalles petits par rapport à la longueur d'onde des oscillations à transmettre. Il faisait ainsi la première ligne à constitution périodique. En 1903, G.-A. Campbell fit connaître le premier filtre passe-bas. En 1915, K.-W. Wagner, dans les « Archiv für Elektrotechnik », exposa la théorie des réseaux formés d'une chaîne de cellules, et c'est lui que les Allemands considèrent comme l'inventeur des filtres en général. Cen'est pas ici le lieu de discuter les titres de priorité. Disons seulement que c'est avec le développement de l'industrie des câbles téléphoniques à grande distance que l'étude des filtres a pris de l'importance.

III. **Itération et filtrage**. — Lorsqu'il s'agit du $n^{ième}$ élément d'un filtre, les équations (I) deviennent pour cette cellule

$$\left.\begin{aligned} v_n &= av_{n-1} + bi_{n-1}, \\ i_n &= cv_{n-1} + di_{n-1}. \end{aligned}\right\} \quad \text{(II)}$$

A l'extrémité de la chaîne le courant sortant est i_0 sous la tension v_0. Deux problèmes se posent alors : le premier est celui de l'itération ; il consiste à déterminer en fonction du rang n les valeurs de v_n et de i_n ; le second consiste à examiner l'expression de ces valeurs en fonction de la pulsation. Ce sont les propriétés mises ainsi en évidence qui conduisent à la notion du filtrage. C'est une théorie analogue à celle de la dispersion en optique ; on cherche comment varie l'atténuation en fonction de la fréquence.

Occupons-nous d'abord de l'itération.

Ce problème a été résolu dans toute sa généralité par Lagrange pour les suites récurrentes linéaires d'ordre n. On peut consulter à ce sujet la « Théorie des nombres », de Lucas (voir, en particulier, n° 174 : Théorème de Lagrange). Il est facile, au moyen des équations (I), de former une suite récurrente du second ordre. Ecrivons, en effet, les trois équations relatives la première à l'élément de rang n, les deux autres à l'élément de rang $n - 1$,

$$\begin{aligned} v_n &= av_{n-1} + bi_{n-1}, \\ v_{n-1} &= av_{n-2} + bi_{n-2}, \\ i_{n-1} &= cv_{n-2} + di_{n-2}, \end{aligned}$$

et éliminons i_{n-1} et i_{n-2}. Tenons compte de la relation complémentaire (I') ; il vient

$$v_n - (d + a)\, v_{n-1} + v_{n-2} = 0.$$

On peut écrire cette équation sous la forme symbolique générale

$$v^p\,(v^2 - (d + a)\, v + 1) \simeq 0,$$

le polynôme entre parenthèses s'appelle l'échelle de récurrence. Le chapitre XVIII de l'ouvrage de Lucas est consacré à l'étude des fonctions (numériques) du second ordre, qui correspondent à une échelle numérique du second degré (à coefficients entiers). Parmi les solutions, on distingue la fonction fondamentale U_n donnée par les conditions initiales

$$U_0 = 0, \quad U_1 = 1,$$

et la fonction primordiale V_n donnée par les conditions initiales

$$V_0 = 2, \quad V_1 = a + d.$$

On pose alors

$$a + d = 2\cosh\lambda,$$

et l'on a

$$U_n = \frac{\sinh n\lambda}{\sinh\lambda}, \quad V_n = 2\cosh n\lambda ;$$

le déterminant

$$\Delta = (a + a)^2 - 4$$

est égal à

$$4\sinh^2\lambda.$$

La solution générale est de la forme

$$v_n = AU_n + BV_n,$$

où les constantes A et B sont déterminées par les valeurs de v_0 et de v_1.

IV. **Impédances itératives**. — Est-il possible de boucler un quadripôle sur une impédance z, de telle sorte que l'impédance aux bornes d'entrée paraisse également de valeur z ?

Autrement dit, on aurait aux bornes de sortie

$$v_1 = z i_2$$

parce qu'on a mis l'impédance z entre ces bornes, et l'on aurait encore

$$v_2 = z i_2,$$

entre la tension et le courant, mesurés aux bornes d'entrée.

On peut transformer le problème, en disant qu'on doit avoir

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{i_2}{i_1}$$

ou, en appelant y la valeur commune de ces rapports,

$$v_2 = y v_1,$$
$$i_2 = y i_1,$$

c'est-à-dire que la tension et le courant seraient modifiés dans le même rapport y en passant des bornes de sortie aux bornes d'entrée.

Reportons ces valeurs de v_2 et de i_2 dans les équations (I) et nous avons

$$(y - a)\, v_1 = b i_1,$$
$$(y - d)\, i_1 = c v_1.$$

Noux avons ainsi deux équations en $\frac{v_1}{i_1}$. Il faut trouver la valeur de y qui donnera à $\frac{v_1}{i_1} = z$ la même valeur dans chacune des deux équations. On a donc

$$(y - a)(y - d) = bc,$$

ou, en tenant compte de la relation complémentaire,

$$y^2 - (a + d)\, y + 1 = 0. \qquad (1)$$

On trouve justement, pour déterminer y, l'échelle qui vient d'être obtenue pour v.

Il est clair que l'on peut poser

$$a + d = 2 \cosh \lambda, \quad y = e^{\lambda}.$$

La partie réelle de λ sera l'exposant d'affaiblissement.

Si je considère un filtre composé de quadripôles identiques à celui que je viens de considérer, j'aurai dans les conditions indiquées

$$v_n = e^{\lambda} v_{n-1} = e^{2\lambda} v_{n-2} = \ldots = e^{n\lambda} v_0,$$

et de même

$$i_n = e^{n\lambda} i_0,$$

et, de plus, j'aurai, pour le dernier quadripôle,

$$\frac{v_0}{i_0} = \frac{e^{\lambda} - d}{c} = \frac{b}{e^{\lambda} - a}.$$

Si on suivait les divers éléments de la chaîne, en procédant en ordre inverse, le nombre y devrait être changé en son inverse ; et effectivement les deux racines de l'échelle sont inverses l'une de l'autre, puisque leur produit est égal au terme + 1. Changer y en $\frac{1}{y}$ revient à changer λ en $-\lambda$.

Il est aisé d'obtenir les valeurs correspondantes de z, car on a par la seconde équation en y

$$z = \frac{y - d}{c} \quad \text{ou} \quad y = cz + d. \qquad (2)$$

Reportons cette expression de y dans l'échelle du second degré, dont nous venons de voir que y est racine, nous obtenons, en tenant compte de l'équation complémentaire, l'équation transformée en z

$$cz^2 - (a - d)\, z - b = 0, \qquad (3)$$

dont j'appellerai les racines ω_1 et ω_2.

V. **Relation homographique entre les impédances d'entrée et de sortie.** — Pour interpréter la signification de ω_1 et de ω_2, il convient de rechercher, d'une façon plus générale, quelle est la valeur de l'impédance que l'on mesurera aux bornes 2 du quadripôle quand on aura fermé ses bornes 1 sur une impédance déterminée.

Si l'on introduit l'impédance z_1 entre les bornes 1, on a

$$v_1 = z_1 i_1,$$

et, entre les bornes 2, la valeur de l'impédance que l'on mesure est alors z_2, savoir

$$v_2 = z_2 i_2.$$

Reportons ces valeurs dans les équations (I), il vient par division membre à membre

$$z_2 = \frac{a z_1 + b}{c z_1 + d}, \qquad ad - bc = 1. \qquad (4)$$

Il y a donc une relation homographique entre z_1 et z_2 et les points doubles de cette homographie sont donnés par l'équation

$$cz^2 - (a - d)\, z - b = 0,$$

obtenue en faisant dans (4)

$$z_1 = z_2 = z.$$

Les quantités que nous avons désignées par ω_1 et ω_2 sont justement les racines de cette équation. Les affixes de ω_1 et ω_2 dans le plan des imaginaires sont donc les points doubles P_1 et P_2 de l'homographie.

Il va sans dire que les transformations (4) ont été étudiées d'une façon très approfondie par les géomètres (1).

(1) Consulter en particulier Luigi Bianchi. *Geometria differentiale*, p. 142 et suivantes, N. Zanichelli, éditeur à Bologne.

VI. **Détermination du multiplicateur.** — La relation homographique (4) pose le problème de l'itération pour z_n, comme il se posait pour v_n. Ce problème se résout très simplement, si l'on montre que l'on a, dans le quadripôle considéré

$$\frac{z_2 - \omega_1}{z_2 - \omega_2} = e^{2\lambda} \frac{z_1 - \omega_1}{z_1 - \omega_2}. \qquad (5)$$

Mettons sous forme entière les équations (4) et (5), il vient

$$cz_1z_2 - az_1 + dz_2 - b = 0, \qquad (4\text{ bis})$$

$$(1 - e^{2\lambda})\, z_1 z_2 - (\omega_1 - \omega_2 e^{2\lambda})\, z_1 + (\omega_1 e^{2\lambda} - \omega_2)\, z_2 - \omega_1\omega_2 (e^{2\lambda} - 1) = 0.$$

Nous déterminerons ω_1, ω_2 et λ en écrivant que les coefficients sont proportionnels. On obtient ainsi

$$\frac{a}{c} = \frac{\omega_1 - \omega_2 e^{2\lambda}}{1 - e^{2\lambda}}, \qquad \frac{d}{c} = \frac{\omega_1 e^{2\lambda} - \omega_2}{1 - e^{2\lambda}}, \qquad (6)$$

$$\frac{b}{c} = -\omega_1\omega_2. \qquad (6\text{ bis})$$

En retranchant membre à membre la deuxième équation (6) de la première, on a

$$\omega_1 + \omega_2 = \frac{a - d}{c}; \qquad (7)$$

il en résulte que ω_1 et ω_2, dont on connaît le produit et la somme, sont les racines de l'équation (3)

$$cz^2 - (a - d)\, z - b = 0,$$

ainsi qu'on pouvait le prévoir, car si z_1 devient égal à ω_1 ou à ω_2, il faut, d'après la forme de la relation (5), que z_2 soit aussi égal respectivement à ω_1 ou à ω_2.

Pour avoir λ, il suffit d'éliminer ω_1 et ω_2. On a d'abord

$$\omega_1 = \frac{a - de^{2\lambda}}{c\,(1 + e^{2\lambda})}, \qquad \omega_2 = \frac{-d + ae^{2\lambda}}{c\,(1 + e^{2\lambda})},$$

puis d'après la relation (6 bis)

$$\frac{b}{c} = -\frac{(a - de^{2\lambda})\,(-d + ae^{2\lambda})}{c^2\,(1 + e^{2\lambda})^2}.$$

Cette équation peut se mettre sous forme entière en e^{λ} et, si l'on tient compte de la relation complémentaire, il vient

$$e^{4\lambda} - (2bc + a^2 + d^2)\, e^{2\lambda} + 1 = 0.$$

Remplaçons encore $2bc$ par $2ad - 2$, et groupons les termes, il vient

$$(e^{2\lambda} + 1)^2 - (a + d)^2 e^{2\lambda} = 0, \qquad (8)$$

ou

$$\cosh\lambda = \pm\frac{a + d}{2},$$

ou

$$e^{2\lambda} \mp (a + d)\, e^{\lambda} + 1 = 0. \qquad (9)$$

On voit donc que l'on satisfera à l'équation (8) en prenant e^{λ} égal à la valeur de y que nous avons déterminée au paragraphe IV, car l'équation en y n'est autre que l'équation (9), où l'on a pris le signe supérieur dans le double signe.

Nous choisirons pour λ la valeur précédemment déterminée. Le nombre $e^{2\lambda}$ s'appelle le multiplicateur.

Ainsi donc la relation homographique (4) peut se mettre sous la forme (5). Si l'on avait eu affaire à une chaîne de quadripôles identiques, on aurait eu une suite de n égalités récurrentes,

$$\frac{z_n - \omega_1}{z_n - \omega_2} = e^{2\lambda} \frac{z_{n-1} - \omega_1}{z_{n-1} - \omega_2} = e^{4\lambda} \frac{z_{n-2} - \omega_1}{z_{n-2} - \omega_2} = e^{2n\lambda} \frac{z_0 - \omega_1}{z_0 - \omega_2},$$

ce qui donne immédiatement z_n en fonction de z_0.

VII. **Représentation géométrique.** — Considérons une équation de la forme (5), qui est celle donnée à la relation homographique entre z_2 et z_1; deux cas principaux sont à distinguer : 1° λ est réel; 2° λ est purement imaginaire. Dans ce dernier cas, le multiplicateur a son module égal à l'unité.

Posons, en distinguant les modules et les arguments

$$z_2 - \omega_1 = r_2' e^{i\varphi'_2}, \qquad z_1 - \omega_1 = r_1' e^{i\varphi'_1},$$

$$z_2 - \omega_2 = r_2'' e^{i\varphi''_2}, \qquad z_2 - \omega_2 = r_2'' e^{i\varphi''_1}.$$

Soient P_1 et P_2 les affixes de ω_1 et ω_2 et soient M_1 et M_2 les affixes des quantités complexes z_1 et z_2. Laissons fixes les points doubles P_1, P_2 et le point M_1; faisons seulement varier λ, d'abord en lui faisant parcourir toutes les valeurs réelles, puis en lui faisant parcourir toutes les valeurs imaginaires pures. Le point M_2 variera seul.

L'équation (5) prend la forme

$$\frac{r_2'}{r_2''} e^{i(\varphi'_2 - \varphi''_2)} = e^{2\lambda} \frac{r_1'}{r_1''} e^{i(\varphi'_1 - \varphi''_1)}.$$

Dans le premier cas, où λ varie par valeurs réelles, on a, en négligeant les multiples de $2n$,

$$\varphi_2' - \varphi_2'' = \varphi_1' - \varphi_1''. \qquad (C)$$

Donc le point M_2 décrit le lieu des points d'où l'on voit le segment P_1P_2 sous le même angle que de M_1, c'est-à-dire le cercle $P_1M_1P_2$. C'est ce que j'appellerai un cercle de la famille C.

Dans le second cas, celui où λ varie par valeurs purement imaginaires, on a

$$\frac{r_2'}{r_2''} = \frac{r_1'}{r_1''}. \qquad (C')$$

Donc le point M_2 décrit le lieu des points tels que le

rapport de leurs distances aux deux points P_1 et P_2 soit le même que celui des distances de M_1 aux mêmes points. C'est donc également un cercle. J'appellerai C' un cercle de ce genre.

Suivant les diverses positions de M_1, on obtient ainsi les deux familles bien connues de cercles orthogonaux de Poncelet C et C'.

Si λ a une valeur imaginaire $p + qi$, le point figuratif se déplacera sur un cercle de la première série à cause de p, en parcourant une longueur d'arc convenable, puis sur un cercle de la seconde série à cause de q, en parcourant un autre arc de longueur convenable.

Il résulte de l'équation (5) une intéressante signification de λ; c'est la moitié du logarithme du rapport anharmonique des quatre points M_1, P_1, M_2, P_2. Cette quantité se trouve ainsi liée étroitement à la notion de distance dans la géométrie de Lobatchewsky (1).

VIII. **Relation entre les tensions et les courants, au $n^{ième}$ élément.** — Nous avons cherché l'échelle de récurrence pour les tensions ; il est à peu près évident que par un calcul tout semblable on doit trouver pour les courants la même échelle de récurrence.

D'après le calcul relatif à v_n, on peut poser, d'une façon générale

$$v_n = A e^{n\lambda} + B e^{-n\lambda}, \qquad (10)$$

A et B étant deux constantes arbitraires, mais on a

$$v_{n+1} = a v_n + b i_n,$$

d'où l'on tire le courant i_n

$$i_n = \frac{1}{b}(v_{n+1} - a v_n) = \frac{1}{b}[A(e^{\lambda} - a)e^{n\lambda} + B(e^{-\lambda} - a)e^{-n\lambda}].$$

Sous cette forme, on voit bien que i_n est comme v_n la somme de deux termes en $e^{n\lambda}$ et $e^{-n\lambda}$. On voit aussi que, si les conditions initiales déterminent les constantes A et B de v_n, celles de i_n se trouvent déterminées par là même. On peut simplifier l'expression de i_n en introduisant les points doubles. On a, en effet, par la considération du dernier quadripôle fermé sur ω_1 ou ω_2,

$$\frac{v_0}{i_0} = \frac{b}{e^{\lambda} - a} = \omega_1, \quad \text{et} \quad \frac{b}{e^{-\lambda} - a} = \omega_2,$$

d'où

$$i_n = \frac{A}{\omega_1} e^{n\lambda} + \frac{B}{\omega_2} e^{-n\lambda}. \qquad (11)$$

IX. **Formule de récurrence pour les volts-ampères.** — M. Chavasse, ingénieur des télégraphes, a exposé à la Société française des Electriciens, les raisons pour lesquelles, en téléphonie, il y a lieu de considérer en bloc le produit $i_n v_n$ et non la puissance réelle, pour apprécier la valeur d'une communication téléphonique. On a ici

$$i_n v_n = \frac{A^2}{\omega_1} e^{2n\lambda} + \frac{B^2}{\omega_2} e^{-2n\lambda} + AB\left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2}\right). \qquad (12)$$

La quantité u_n satisfait à l'échelle de récurrence du troisième ordre

$$(u - e^{2\lambda})(u - e^{-2\lambda})(u - 1) = 0,$$

tandis que v_n et i_n satisfaisaient séparément à l'échelle de récurrence du second ordre

$$y^2 - 2y \cosh \lambda + 1 = 0;$$

u_n ne satisfait à une échelle du second ordre que si l'on a A ou B nul, ou bien

$$\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} = 0.$$

Ce cas se produira, si l'on a

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{\omega_1 \omega_2} = \frac{a - d}{c} \times \left(-\frac{c}{b}\right) = 0.$$

c'est-à-dire, puisque b est fini, $a = d$ et par conséquent, si le quadripôle est symétrique, quelles que soient d'ailleurs les conditions initiales. Si le quadripôle est dyssymétrique, il faudra que l'on ait comme condition initiale

$$A = 0, \qquad \text{ou} \qquad B = 0.$$

Or s'il en est ainsi, il en résulte que $\frac{v_n}{i_n}$ est constant, c'est-à-dire que le quadripôle est fermé sur l'une des impédances ω_1 ou ω_2, comme on l'a vu au paragraphe IV.

X. **Valeurs vers lesquelles tendent la tension et le courant pour n infini.** — D'après les formules (10) et (11), il est facile de voir que si λ n'est pas une imaginaire pure, v_n et i_n tendent pour n infini soit vers zéro, soit vers l'infini. Comme les expressions conservent les mêmes formes quand on change λ en $-\lambda$, on peut poser

$$\lambda = \alpha + \beta i, \qquad \text{avec} \qquad \alpha > 0.$$

Alors pour n infini, le coefficient de A est infini; celui de B tend vers zéro ; donc i_n et v_n croissent indéfiniment en valeur absolue. Si A lui-même est nul, i_n et v_n tendent vers zéro

Revenons aux cercles de Poncelet et imaginons que l'on ait tracé les cercles des deux familles correspondant aux valeurs entières de n.

Du moment que α n'est pas nul, le point figuratif M_n, affixe de l'impédance z_n, se déplace constamment dans le même sens par rapport à l'une des familles de cercles et tend vers P_2. L'impédance z_n tend vers ω_2. C'est ce

(1) E. Picard. *Leçons sur quelques équations fonctionnelles*, chapitre I.

que montre immédiatement l'inspection de la dernière formule du paragraphe VI. Si M_n tendait vers P_1, c'est que z_n tendrait vers ω_1 et alors v_n et i_n tendraient vers zéro, au lieu d'augmenter indéfiniment.

Supposons, au contraire, que l'on ait $\alpha = 0$.

C'est le cas du filtrage comme on va le voir. On aura donc

$$\lambda = \beta i,$$
$$2 \cosh \beta i = a + d,$$
$$2 \cos \beta = a + d.$$

Comme $a + d$ est réel, il faut que l'on ait, en explicitant l'expression complexe,

$$a = a_1 + qi, \qquad d = d_1 - qi,$$

ce qui constitue une première relation entre a et d; puis

$$-1 < \frac{a_1 + d_1}{2} < +1.$$

a et d étant des fonctions de la pulsation, ces conditions ne seront satisfaites simultanément que dans des cas exceptionnels. Si les parties imaginaires de a et d sont effectivement fonctions de la pulsation, la condition de réalité imposée à $a + d$ donnera une équation pour déterminer la fréquence. Seules seront admissibles celles des racines pour lesquelles se trouveront également satisfaites les conditions d'inégalité imposées à la somme $a_1 + d_1$.

Vérifions que nous retrouvons ainsi les conditions bien connues relatives à un filtre passe-bas, constitué par deux inductances $\frac{1}{2} L$ en série, entre lesquelles est branché en dérivation un condensateur de capacité C.

Fig. 1. — Schéma d'une cellule se présentant sous la forme d'une ligne en T.

Appelons ω la pulsation. La cellule se présente alors sous la forme d'une ligne en T symétrique (fig. 1).

On a

$$r = \frac{1}{2} L\omega i, \quad s = -\frac{1}{C\omega} i,$$
$$v_2 = -s i_1 + (s + r) i_2,$$
$$-v_1 = (s + r) i_1 - s i_2,$$

ou

$$v_2 = \left(1 + \frac{r}{s}\right) v_1 + r \left(2 + \frac{r}{s}\right) i_1,$$
$$i_2 = \frac{1}{s} v_1 + \left(1 + \frac{r}{s}\right) i_1,$$

d'où, par assimilation,

$$a = 1 + \frac{r}{s} = d.$$

La première condition est satisfaite d'elle-même parce que $\frac{r}{s}$ et, par suite, a et d sont réels, quelle que soit la pulsation.

D'autre part, nous avons

$$\cos \beta = \frac{a + d}{2} = 1 - \frac{LC\omega^2}{2} = 1 - 2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2},$$

en appelant

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{LC}}$$

la pulsation de résonance de la cellule. La relation peut encore s'écrire

$$2 \sin^2 \frac{\beta}{2} = 2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}.$$

La pulsation ne sera dans la bande de filtrage que si l'on a

$$\omega < \omega_0,$$

ce qui justifie le nom de passe-bas et le terme de filtrage, les autres pulsations étant arrêtées.

Revenons au cas général du filtrage. Admettons donc que pour une certaine pulsation, λ ait une valeur purement imaginaire. On peut se demander ce que devient z_n pour n infini. Le point M_n, affixe de z_n, occupe diverses positions successives, correspondant aux diverses valeurs de n, sur une circonférence de la famille C', qui a pour équation en coordonnées bipolaires, avec P_1 et P_2 comme pôles,

$$\frac{r'_n}{r''_n} = \frac{r'_0}{r''_0}. \qquad (C')$$

Donc, quelle que soit la valeur de n, le point M_n ne viendra jamais ni en P_1 ni en P_2 et l'impédance ne tendra jamais vers les valeurs ω_1 et ω_2,

Le point M_n se trouve d'ailleurs situé également sur la circonférence C_n qui a pour équation, selon la valeur de l'indice n,

$$\varphi'_n - \varphi''_n = \varphi'_0 - \varphi''_0 + 2n\beta,$$

et lorsque n augmente d'une unité le point M_n, tout en restant sur la circonférence C', passe de la circonférence C_n à la circonférence C_{n+1}. On doit donc se représenter toutes les circonférences C_n à partir de la circonférence C_0 qui passe par M_0. Elles se coupent successivement sous le même angle 2β. Ces circonférences ne tendent donc jamais à se confondre avec une circonférence limite. Tout au plus, peut-on dire que, lorsque 2β est commensurable avec 2π, elles sont en nombre fini et limité. Il en résulte que l'impédance z_n prend une suite de valeurs successives, séparées par des intervalles finis, et que ces valeurs ne forment une suite périodique que dans un cas particulier, celui où $\frac{\beta}{\pi}$ est un nombre commensurable; autre-

ment, les valeurs sont en nombre infini; mais dans aucun cas, elles ne tendent vers une limite.

J'ai montré dans un article antérieur (1) que s'il n'existe pas de fonction de dissipation d'énergie, l'impédance est, en règle générale, une fonction croissante de la pulsation.

XI. **Impédances images.** — Il importe de ne pas confondre les impédances caractéristiques avec les impédances images. La définition de celles-ci peut être exposée comme suit. Bouclons les bornes 1, 1′ sur l'impédance z_1 et mesurons l'impédance aux bornes 2, 2′ du quadripôle; nous obtenons l'impédance z_2 dont la valeur est reliée à z_1 par la relation homographique

$$z_2(cz_1 + d) - (az_1 + b) = 0.$$

Cela fait, bouclons les bornes 2, 2′ sur l'impédance z_2 et mesurons l'impédance aux bornes 1, 1′ du quadripôle; nous obtiendrons une impédance z'_1 qui sera en général différente de z_1. Mais en faisant varier z_1 convenablement, il arrivera que z'_1 sera égal à z_1. Les valeurs de z_1 et z_2 réalisées de la sorte seront celles des impédances images. Alors, dans les deux expériences que nous venons d'imaginer, la tension aux bornes 1, 1′ sera toujours v_1, la tension aux bornes 2, 2′ sera toujours v_2, comme dans la définition des impédances itératives. Mais comme l'on a interverti les deux bornes d'entrée avec les deux bornes de sortie, en passant de la première expérience à la seconde, le courant i_1 est devenu $-i_1$; le courant i_2 est devenu $-i_2$ et par suite $\frac{v_1}{-i_1}$ et $\frac{v_2}{-i_2}$, c'est-à-dire $-z_1$ et $-z_2$ sont les nouvelles impédances qui satisferont encore à la relation homographique. On aura donc

$$-z_2(-cz_1 + d) - (-az_1 + b) = 0.$$

Si l'on opère par somme et par différence sur les deux relations homographiques, qui doivent être satisfaites simultanément, il vient

$$cz_1z_2 - b = 0, \quad dz_2 - az_1 = 0.$$

Les termes de degré pair et les termes de degré impair doivent s'annuler séparément. Ces deux relations donnent les impédances images.

XII. **Correspondance entre les deux racines de l'échelle et les deux valeurs du multiplicateur.** — Précisons la relation qui existe entre les deux racines de l'équation en y et les deux racines de l'équation en $e^{2\lambda}$ chacune à chacune. Posons $u = e^{2\lambda}$, pour abréger l'écriture.

Nous avons obtenu, au paragraphe VI, pour déterminer les impédances itératives ω_1 et ω_2 et les valeurs de u, deux équations du second degré.

(1) J.-B. Pomey; Sur une proposition fondamentale de la théorie des filtres électriques. *Revue générale de l'Electricité*, 25 février 1928, t. XXIII, p. 347-350.

Nous avions, d'après les équations (6) et (7),

$$\omega_1 + \omega_2 = \frac{a-d}{c}, \quad \omega_1 - \omega_2 = \frac{a+d}{c} \times \frac{1-u}{1+u},$$

d'où l'on tire, comme nous l'avons vu,

$$\omega_1 = \frac{a - du}{c(1+u)}, \quad \omega_2 = \frac{au - d}{c(1+u)}.$$

Appelons u_1 la racine de l'équation en u qui correspond à ω_1. Nous avons alors

$$\omega_1 = \frac{a - du_1}{c(1+u_1)};$$

on peut, au moyen de cette équation, former la valeur de y_1 (formule (2) du paragraphe IV, où l'on remplace z par la valeur ω_1)

$$y_1 = c\omega_1 + d,$$

en fonction de u_1, et il vient immédiatement

$$y_1 = \frac{a+d}{1+u_1}. \tag{13}$$

Reportons cette expression dans l'équation (1) en y il vient :

$$(a+d)^2 - (a+d)^2(1+u_1) + (1+u_1)^2 = 0,$$

ou

$$u_1^2 + u_1(2 - (a+d)^2) + 1 = 0.$$

Les deux racines sont inverses l'une de l'autre, donc ces deux racines u_1 et u_2 sont telles qu'on a

$$u_1u_2 = 1.$$

L'équation en u_1 peut s'écrire

$$(u_1 + 1)^2 - (a+d)^2u_1 = 0,$$

et elle se décompose aussitôt en deux facteurs

$$\left(u_1 + 1 + (a+d)\sqrt{u_1}\right)\left(u_1 + 1 - (a+d)\sqrt{u_1}\right) = 0.$$

Nous retrouvons d'une façon plus naturelle que précédemment un résultat déjà indiqué. De plus, on a, en remplaçant u_1 par $\frac{1}{u_2}$

$$(u_1 + 1)^2 - (a+d)^2\frac{1}{u_2} = 0,$$

c'est-à-dire d'après la relation (13)

$$u_2 = \left(\frac{a+d}{1+u_1}\right)^2 = y_1^2,$$

et par suite

$$u_1 = y_2^2, \quad u_2 = y_1^2.$$

On voit que l'équation en u a pour racines les carrés des racines de l'équation en y ; mais les racines qui se correspondent ainsi, sont associées respectivement à l'autre impédance itérative.

XIII. **Propriété du déterminant.** — Si l'on considère deux quadripôles de constitutions différentes et qu'on réunisse les bornes d'entrée du premier aux bornes d'entrée du second, on forme ainsi un nouveau quadripôle, pour lequel la relation

$$ad - bc = 1,$$

continuera évidemment à être vérifiée. Il est d'ailleurs clair que les équations du quadripôle représentent une substitution linéaire de déterminant égal à l'unité et, si l'on met bout à bout plusieurs quadripôles, qui pourront être de constitutions différentes, le déterminant de la substitution résultante, qui est le produit des déterminants des diverses substitutions successives, continuera à être égal à l'unité. En mettant à la suite les uns des autres une infinité de quadripôles de constitutions convenables, on pourra imiter n'importe quelle ligne dont les constantes sont des fonctions quelconques de la distance à l'origine.

Précisons ce point. Si nous divisons en n segments la longueur l de la ligne, le nombre n étant infiniment grand, nous aurons pour l'un de ces segments élémentaires

$$V_2 = V_1 - \frac{rl}{n} I_1, \quad r = \rho + \lambda\omega\sqrt{-1},$$

$$I_2 = I_1 - \frac{sl}{n} V_1, \quad s = \sigma + \gamma\omega\sqrt{-1},$$

r et s étant variables tout le long de la ligne d'élément à élément.

Le déterminant de la substitution entre l'origine de la ligne et son extrémité sera un produit de la forme

$$\lim_{n=\infty} \left[\left(1 - r_1 s_1 \frac{l^2}{n^2}\right)\left(1 - r_2 s_2 \frac{l^2}{n^2}\right) \ldots \left(1 - r_n s_n \frac{l^2}{n^2}\right)\right].$$

Ce produit sera comparable à une expression de la forme

$$\left(1 + \frac{a}{n^2}\right)^n,$$

qui, pour n infini, tend vers l'unité ; c'est le résultat énoncé récemment par M. Roth et par M. Thomas. La bibliographie relative aux filtres électriques est donnée d'une façon très complète dans un ouvrage de M. Pierre David (1).

J.-B. POMEY,
Inspecteur général
des Postes et Télégraphes.

Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette *(Suite et fin)* (*)

DEUXIÈME PARTIE : **Chaînette sur appuis mobiles**

IV. **Conditions normales.** — 1. INFLUENCE DES CHAINES D'ISOLATEURS ET HYPOTHÈSES. — Si le fil conducteur est supporté par des chaînes d'isolateurs de suspension, qui sont mécaniquement libres d'osciller dans le plan de la chaînette, la portée topographique d_0 ne sera plus une constante. En effet, si les chaînes d'isolateurs sont verticales, les portées vraies sont égales aux distances horizontales entre les pylônes ; mais aussitôt que les chaînes d'isolateurs prennent une position plus ou moins inclinée, les portées augmentent ou diminuent d'après les déplacements horizontaux des pinces qui soutiennent le fil.

Avant de procéder à l'étude détaillée de ce phénomène, il sera utile de faire quelques remarques.

La chaîne d'isolateurs de suspension (fig. 11 a) sera considérée comme une pièce rigide articulée en R et S (fig. 11 b). Nous rappelons ici que des isolateurs effectivement constitués par des bâtons en bois ou par des tubes en bakélite ont été mis en service.

Il en est de même pour le cas d'une chaîne d'amarrage (fig. 11 c et d). Nous considérerons toujours la pièce articulée RS comme si elle faisait partie de la chaînette, en négligeant pour la petite longueur z le plus grand poids par mètre courant des isolateurs par rapport au fil. Pour des lignes à très haute tension avec des câbles relativement gros et des portées qui ne sont jamais trop petites, cette hypothèse ne conduit à aucune erreur appréciable.

Au pylône d'amarrage correspond donc un appui fixe de la chaînette.

Nous désignerons par « série de chaînettes » l'ensemble des chaînettes comprises entre deux amarrages, appuis fixes, successifs.

2. POSITION DE LA QUESTION. — Considérons, par exemple, la série de chaînettes de la figure 12.

1° *Premier état* (*pose*). — Nous admettrons toujours que la série a été posée avec le même paramètre a pour toutes les chaînettes. Cela revient à dire que les ten-

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 8 février 1929, t. XXVII, p. 195-206.

(1) Pierre DAVID. *Les filtres électriques*. Gauthier-Villars.

sions horizontales T_0 aux points 1, 2, 3, 4, 5 sont toutes égales; elles vont alors s'annuler réciproquement aux points 2, 3, 4.

Les chaînes d'isolateurs de suspension (II, III, IV) sont donc verticales.

2° *Deuxième état.* — Par la variation des conditions de température et de charge, le paramètre variera différemment pour chaque chaînette. Les tensions horizontales T_0 ne seront plus égales et les nœuds 2, 3, 4 seront sollicités par la différence ΔT_0 entre les tensions T_0

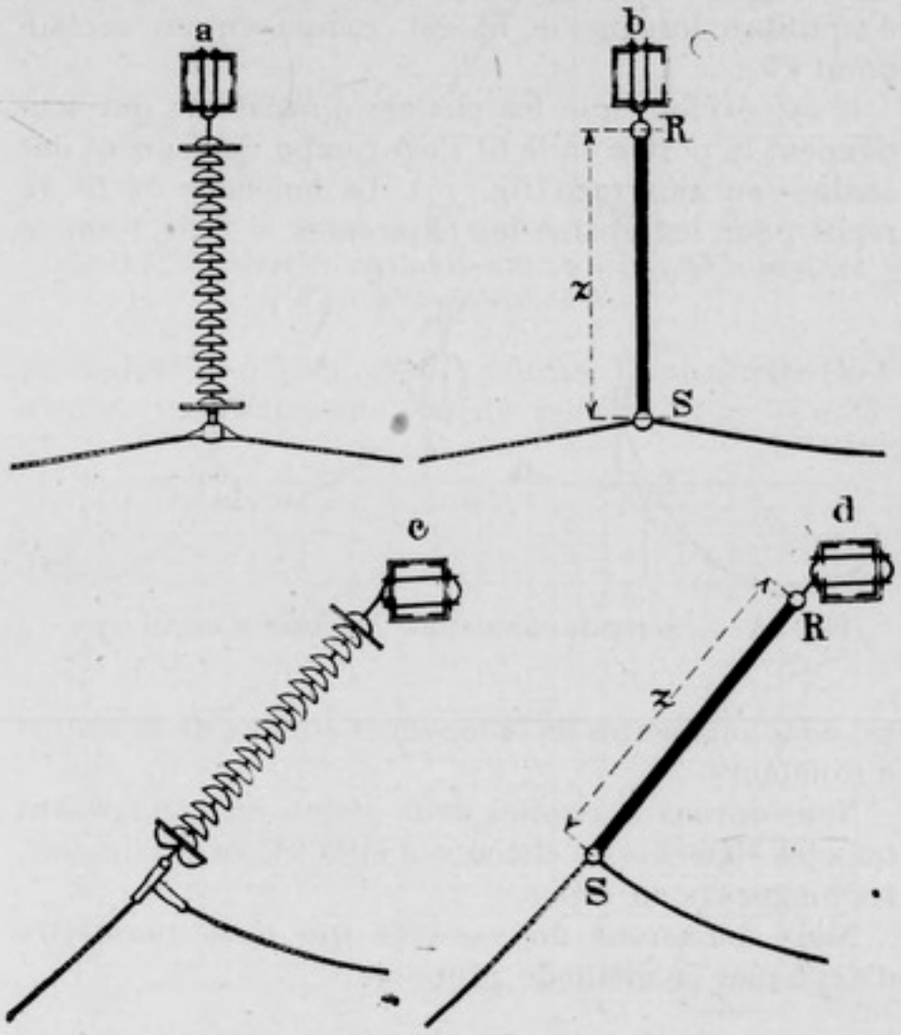


Fig. 11. — Schéma de chaînes d'isolateurs de suspension (a) et d'amarrage (c) considérées comme pièces rigides articulées RS (b et d).

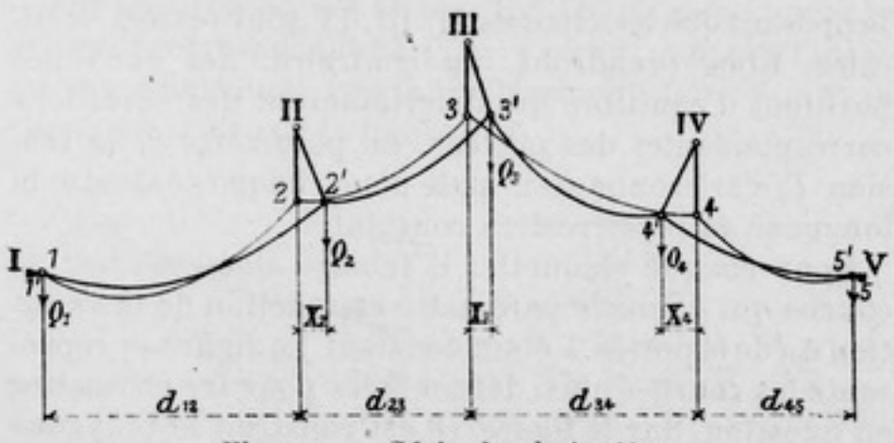


Fig. 12. — Série de chaînettes.

des chaînettes qui s'appuient sur chaque nœud (pince de serrage du fil). Ces nœuds devront donc se déplacer jusqu'à atteindre une nouvelle position d'équilibre 2', 3', 4.

Le problème que nous nous proposons de résoudre est le suivant :

La série tout entière étant posée dans certaines conditions de pose (premier état) et avec le même paramètre (c'est-à-dire, avec les chaînes d'isolateurs de suspension verticales), il s'agit de déterminer la position de ces chaînes lorsqu'on passe à un autre état, avec des conditions différentes de température et de charge.

Remarquons que les pinces 2, 3, 4 se déplacent de façon à diminuer la portée de la chaînette plus sollicitée et à augmenter celle de la chaînette moins sollicitée. Ce déplacement tend alors à annuler la différence ΔT_0 qui est la cause du déplacement même.

Le nouvel état d'équilibre 2', 3', 4' est donc stable. On en déduira que la tension maximum de la série tout entière en sera diminuée par rapport à celle qu'on aurait avec des isolateurs rigides.

Encore une fois, nous sommes en présence d'une déformation spontanée de la chaînette et nous constatons que la sollicitation du fil en est diminuée.

L'emploi des isolateurs de suspension a été envisagé d'après des considérations de sécurité électrostatique et mécanique. Il est curieux d'observer que ces avantages au point de vue de l'isolement s'ajoutent à un autre avantage mécanique relatif à la stabilité du conducteur.

Une ligne équipée avec des isolateurs de suspension apparaît donc assimilable à un système élastique qui peut se déformer sous l'action des forces appliquées. Cette « élasticité » sera d'autant plus grande que le degré de liberté des pinces 2, 3, 4... est plus grand, c'est-à-dire que la chaîne d'isolateurs est plus longue. Il est donc pratiquement inutile d'envisager l'étude en question pour des lignes dont la tension ne serait pas assez élevée.

Le déplacement des chaînes de suspension provoque dans chaque portée une variation de la flèche en sens opposé à la variation de la tension.

Le calcul des chaînettes envisagé d'après le déplacement des isolateurs est donc, en pratique, un calcul de vérification des flèches. Il est inutile, en effet, de vérifier encore la stabilité du fil, si cette vérification a déjà été faite (par le calcul plus simple) en supposant tous les isolateurs rigides.

3. Polygone des forces dans le cas d'une série de chaînettes; inclinaison des chaînes d'isolateurs. — 1° Considérons une pince de suspension quelconque (fig. 13). On peut lui faire correspondre un polygone des forces (fig. 14). Dans tous les cas l'isolateur supportant la pince considérée réagit par les deux forces

$$-\Delta T_0 = -(T_{01} - T_{02})$$

$$N = -Q,$$

c'est-à-dire par la résultante VW (fig. 14).

S'il y a une chaîne d'isolateurs, celle-ci doit prendre une direction parallèle à celle de la résultante VW.

2° Calculons les deux chaînettes relatives à la pince considérée, en supposant l'isolateur rigide. Le polygone des forces est alors immédiat (fig. 14). Laissons

libre maintenant la chaîne d'isolateurs. La pince se déplacera vers la gauche, car elle est sollicitée par la force ΔT_0. Si pendant ce déplacement le régime des forces ne variait pas, la chaîne prendrait une position

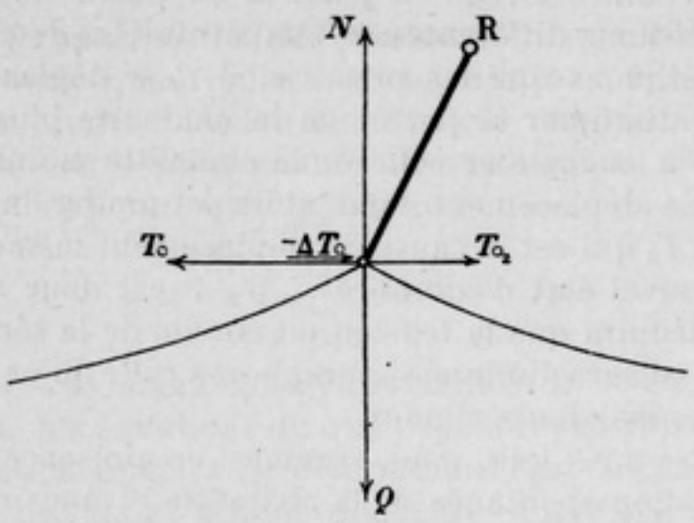


Fig. 13. — Diagramme des efforts sur une pince de chaine de suspension.

parallèle à la résultante VW et le déplacement horizontal de la pince serait mesuré par ΔT_0 à la même échelle où Q représente la longueur de la chaîne.

Pendant le déplacement, au contraire, la force T_{01} diminue tandis que T_{02} croît. La cause du déplacement (force ΔT_0) diminue rapidement, de sorte que l'équilibre sera atteint bien avant que la chaîne prenne l'inclinaison VW.

Une position d'équilibre probable est par exemple celle indiquée par st (fig. 14). Le problème est alors ramené à la détermination de cette résultante st dont

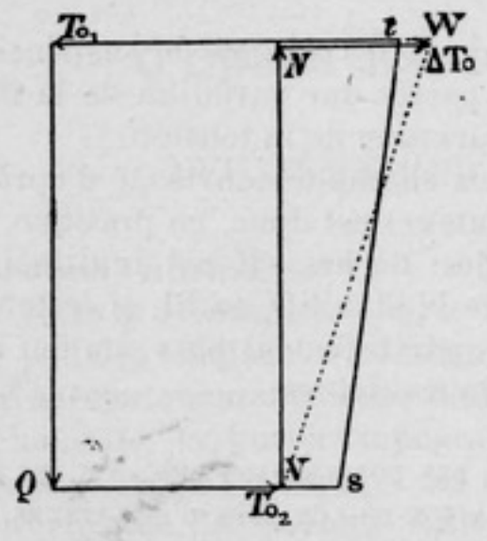


Fig. 14. — Polygone des forces agissant sur la pince de suspension.

l'inclinaison coïncide avec celle de la chaîne dans sa nouvelle position d'équilibre.

3° A chaque pince on peut faire correspondre un polygone analogue à celui de la figure 14. Etant donné que dans deux polygones successifs apparaît une même force, avec des signes contraires, les différents polygones peuvent se tracer de façon à avoir un côté commun. L'analogie avec le diagramme d'un treillis réticulaire, de Cremona, est évidente.

Ce polygone des forces pour toute la série de chaînettes peut nous conduire aisément à la solution du problème, après quelques tâtonnements. Nous ferons plus loin une application de ce procédé dans un cas où les déplacements sont bien plus sensibles.

V. **Conditions anormales : rupture du fil.** — 1 Enoncé du problème. — Etant donné une certaine série de chaînettes (fig. 15) dans certaines conditions de charge et de température, quelle sera sa position d'équilibre lorsque le fil est rompu en un certain point v?

Il est évident que les chaînes d'isolateurs qui soutiennent la portée où le fil s'est rompu deviennent des chaînes en amarrage (fig. 15). La longueur du fil au repos pour les chaînettes adjacentes à celle rompue

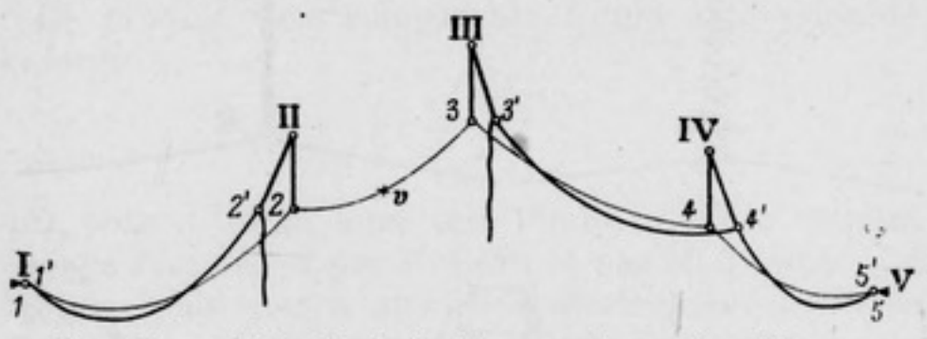


Fig. 15. — Série de chaînettes : rupture d'un fil en v.

est donc augmentée de la longueur connue de la chaîne d'isolateurs.

Nous aurons à étudier deux séries, en connaissant tous les éléments de chacune d'elles et, en particulier, les longueurs au repos.

Nous donnerons un exemple qui nous permettra d'expliquer la méthode proposée.

2. Application (1). — Supposons qu'après la rupture du fil, immédiatement à droite de la pince V, la série de chaînettes prenne la disposition représentée sur la figure 16. La chaînette IV-V aura sa longueur au repos augmentée de la longueur de la chaîne d'isolateurs, car l'appui V est maintenant en amarrage. Nous pouvons donc calculer cette nouvelle chainette IV-V, cela en supposant que les chaînes II, III, IV sont restées verticales. Elles prendront, au contraire, des nouvelles positions d'équilibre qui détermineront des variations correspondantes des portées. Le paramètre et la tension T_0 varieront aussi, mais pour chaque chaînette la longueur au repos restera constante.

Pour chaque chaînette, il faudra alors calculer la courbe qui donne le paramètre en fonction de la variation Δd de la portée, λ étant constant. La figure 17 représente les courbes ainsi déterminées pour les chaînettes en question. Sur la figure 18 est construit le polygone des forces établi en admettant que tous les isolateurs sont rigides. Les nœuds n'étant pas fixes, nous déterminerons la nouvelle position d'équilibre par quelques

(1) Les calculs numériques relatifs aux chaînettes considérées dans cet exemple n'ont pu trouver de place dans ce résumé ; ils sont expliqués en détail dans le rapport présenté à la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension, en 1929.

tâtonnements, en partant d'une extrémité, celle de droite par exemple (fig. 16).

Première hypothèse. — Supposons que la pince IV

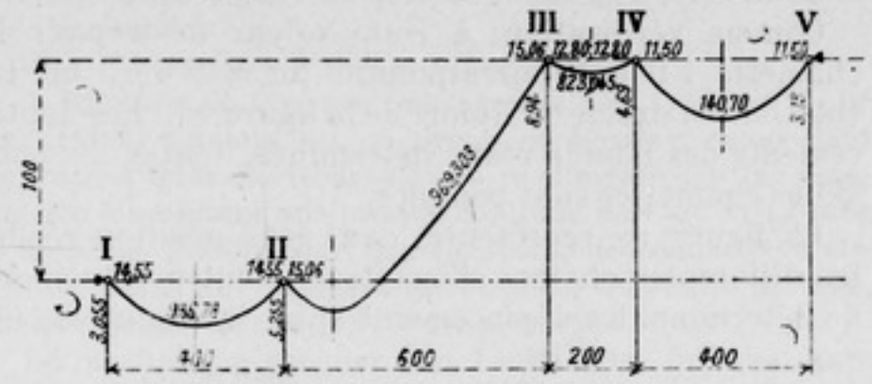


Fig. 16. — Série de chaînettes dans le cas de la rupture d'un fil à droite de V.

se déplace de 0,35 m vers la gauche. La chaînette IV-V a alors une augmentation de portée $\Delta d = + 0{,}35$;

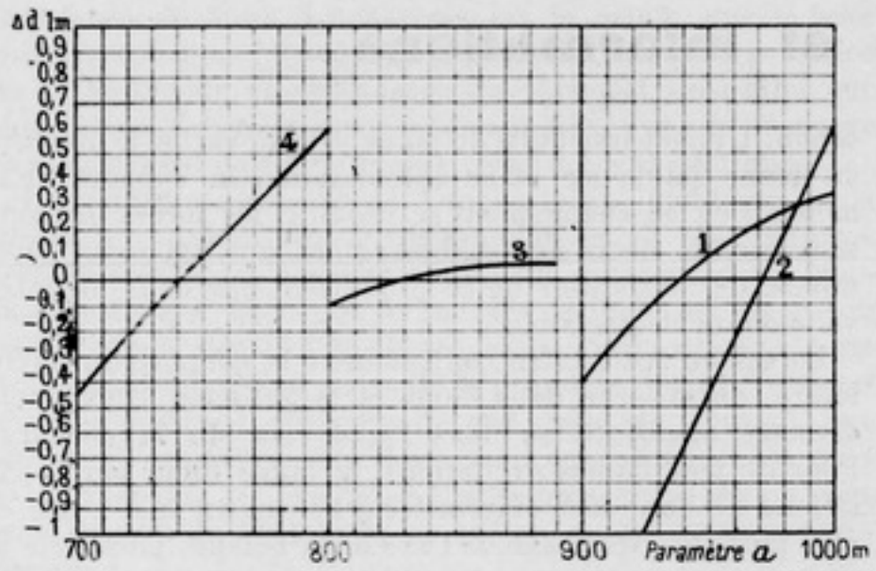


Fig. 17. — Courbes représentant les variations de a en fonction de la variation de la portée Δd : 1, chaînette I-II, $d = 400$ m et $h = 0$: 2, chaînette II III, $d = 600$ m, $h = 100$ m; 3, chaînette III-IV, $d = 200$ m, $h = 0$; 4, chaînette IV-V, $d = 400$ m, $h = 0$.

son paramètre passera de 740,70 à 775 m (fig. 17) et sa tension horizontale T_0, de 11,50 à 12,05 kg : mm².

Sur le polygone des forces (fig. 18) on peut tracer le segment correspondant à $T_0 = 12{,}05$ kg : mm² et à l'inclinaison déterminée par le déplacement $\Delta d = + 0{,}35$ m (ligne pointillée de la figure 18).

La tension T_0 de la chaînette III-IV sera de suite déterminée sur le polygone des forces et égale à 11,90 kg : mm². Son paramètre doit être 830 m avec une augmentation de la portée de 0,02 m (fig. 17).

Le nœud III se déplace donc de 0,37 m vers la gauche. On peut donc tracer le deuxième segment du polygone des forces, en pointillé sur la figure 18. On

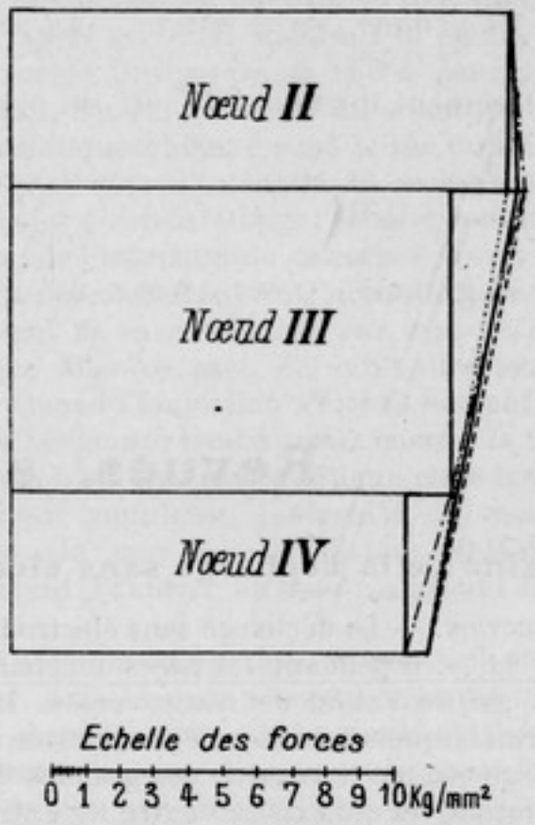


Fig. 18. — Polygone des forces agissant sur le système de chaînettes représentées sur la figure 16.

voit de suite que l'équilibre du nœud II ne sera pas réalisé. Le déplacement initial a été supposé trop petit.

Deuxième hypothèse. — Le déplacement du nœud IV est supposé de 0,40 m vers la gauche. On aura successivement

pour la chaînette IV-V :

$$\Delta d = 0{,}40 \text{ m}, \quad a = 780 \text{ m}, \quad T_0 = 12{,}13 \text{ kg : mm}^2;$$

pour la chaînette III-IV :

$$T_0 = 13{,}1 \text{ kg : mm}^2, \quad a = 842 \text{ m}, \quad \Delta d = 0{,}04 \text{ m};$$

pour le déplacement du nœud III, 0,44 m.

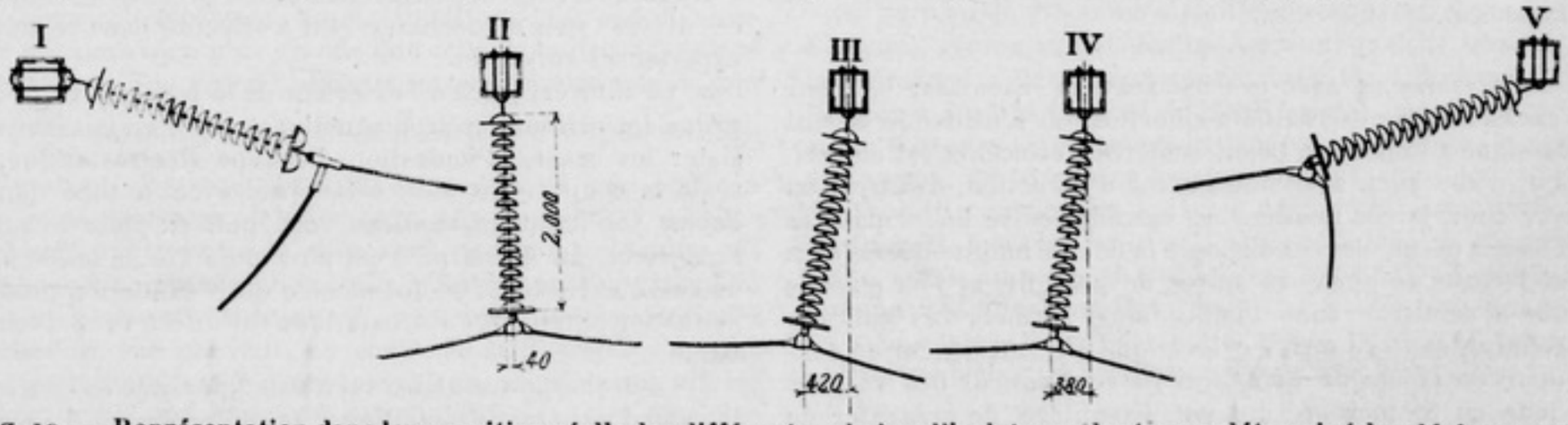


Fig. 19. — Représentation dans leur position réelle des différentes chaine d'isolateurs dont on a déterminé les déplacements, après rupture du fil.

Le polygone des forces est tracé en traits fins sur la figure 18.

Il est évident que le déplacement initial a été supposé trop grand.

Troisième hypothèse. — Le déplacement du nœud IV est supposé de 0,38 m vers la gauche. On aura successivement pour la chaînette IV-V :

$$\Delta d = 0{,}38\ \text{m}, \quad a = 778\ \text{m}, \quad T_0 = 12{,}10\ \text{kg:mm}^2;$$

pour la chaînette III-IV :

$$T_0 = 13\ \text{kg:mm}^2, \quad a = 836\ \text{m}, \quad \Delta d = 0{,}04\ \text{m}.$$

Le déplacement du nœud III est de 0,42 m vers la gauche, d'où

pour la chaînette II-III :

$$T_0 = 14{,}75\ \text{kg:mm}^2, \quad a = 948\ \text{m}, \quad \Delta d = -0{,}46\ \text{m}.$$

Le déplacement du nœud II est de 0,04 m vers la droite, d'où

pour la chaînette I-II : $T_0 = 14{,}65\ \text{kg:mm}^2$, $a = 942$ m.

Comme vérification, à cette valeur de a pour la chaînette I-II doit correspondre $\Delta d = +0{,}04$ m. La solution est exacte (trait fort de la figure 18). Les déplacements des nœuds étant déterminés, toutes les nouvelles chaînettes sont connues.

La figure 19 représente, dans leur position réelle, les différentes chaînes d'isolateurs dont nous venons de déterminer les déplacements après la rupture du fil.

Jean Silva,
Ingénieur aux Services techniques de la Società idroelettrica Piemonte, à Turin.

Revues, analyses et informations

Sur l'origine de la décharge sans électrodes (1).

1. Introduction. — La décharge sans électrodes fut découverte en 1884, et cependant les idées touchant son mécanisme font encore l'objet de controverses. De nombreux auteurs, parmi lesquels Townsend et Donaldson, ont considéré cette décharge comme le résultat des grandes différences de potentiel alternatives qui existent entre les extrémités d'une bobine parcourue par des courants de haute fréquence; pour d'autres, elle serait due à une induction électromagnétique (J.-J. Thomson). Le présent travail a été entrepris pour tâcher de lever l'apparente contradiction de ces deux manières de voir.

Dès l'origine, il convient de noter que les travaux de Thomson se sont toujours confinés au type de décharge dite annulaire, qui se produit dans un domaine assez étroit de pressions, alors que Townsend et Donaldson faisaient porter leurs recherches sur une décharge lumineuse uniforme observable entre des limites de pressions bien plus étendues. L'auteur de l'article qui nous occupe montre précisément que la décharge en anneau est d'origine électromagnétique, alors que la lueur uniforme est largement, et même complètement, d'origine électrostatique, ce qui met tout le monde d'accord. Et la cause du désaccord apparent est que la différence entre les deux types de décharge avait échappé à Townsend et Donaldson.

2. Expériences avec des oscillations amorties. — Pour l'excitation par oscillations amorties, on a utilisé le circuit classique à étincelles. Le micromètre à étincelles est en relation, d'une part, avec une bobine d'induction, d'autre part avec deux jarres montées en cascade, entre les armatures externes desquelles est disposée la bobine habituelle. Celle-ci est formée de quelques spires de gros fil, et l'on place le tube à décharge dans l'hélice ainsi formée. Les tubes à décharge sont de forme cylindrique; ils ont 16 cm de longueur et 11 cm de diamètre. Ils contiennent des vapeurs d'iode ou de mercure qui ont l'avantage de présenter de brusques changements de couleur ou d'aspect de la décharge, lorsqu'on fait croître de façon continue l'intensité de l'excitation. L'iode passe ainsi du jaune pâle au vert et le mercure, du blanc faible au blanc éblouissant. On suppose qu'au moment où ce changement se produit, les forces qui agissent sur les électrons excitateurs ont une intensité déterminée. Ces variations ne se produisent que dans un intervalle donné de pressions.

Lorsqu'on fait croître continûment la coupure du micromètre, on observe dans l'iode, à la pression convenable, diverses modifications dans l'apparence de la décharge. Pour de très faibles excitations, la faible lueur jaune pâle s'étend de l'une des extrémités à l'autre du tube; elle est plus faible au voisinage de l'axe de la bobine, plus forte au contraire suivant le plan de symétrie du tube. Lorsque l'excitation croît, la lueur devient de plus en plus brillante au niveau de ce plan, et finalement, elle se résout en un anneau vert oscillant légèrement de part et d'autre du plan de symétrie. Cet anneau est si brillant que la lueur initiale n'est plus perceptible. Pour des coupures encore plus grandes, il se forme plusieurs nouveaux anneaux verts de part et d'autre du plan de symétrie, jusqu'à ce que finalement tous ces anneaux se fusionnent en une large bande verte annulaire qui occupe presque toute la longueur du solénoïde. L'épaisseur radiale reste cependant la même que pour un seul anneau.

L'auteur a cherché, naturellement, à préciser l'origine de ces divers types de décharge et il a effectué dans ce but les expériences suivantes :

a) Le tube est placé à l'extérieur de la bobine, ce qui supprime les actions électromagnétiques, tout en laissant subsister les causes d'ionisation d'origine électrostatique. On règle la coupure de telle sorte que, avec le tube dans la bobine, on obtienne l'anneau vert, puis on place le tube à l'extérieur. La décharge n'est plus alors que la faible lueur de basse excitation; ce qui montre que l'excitation produite par action purement électrostatique est un effet relativement faible.

b) La décharge annulaire verte est supprimée en entourant le tube d'une feuille métallique; ce qui contribue à prouver que cette décharge est bien d'origine électromagnétique.

Plusieurs autres expériences faites successivement avec l'iode, puis avec le mercure, ont conduit aux mêmes conclusions : les décharges de faible excitation sont d'origine élec-

(1) K.-A. McKinnon. *The philosophical Magazine*, novembre 1929, t. VIII (7e série), p. 605-616, 3500 mots, 9 figures.

trostatique; pour des excitations plus énergiques, qui produisent uu anneau brillant, la décharge est d'origine électromagnétique. Les décharges d'origine électrostatique restent toujours peu lumineuses, quelle que soit l'intensité de l'excitation.

3. Expériences avec des oscillations non amorties. — Le générateur employé est un circuit de Hartley, comportant un tube à trois électrodes de 250 w alimenté par une génératrice fournissant une tension continue de 1 500 v. Le tube à décharge est introduit dans le solénoïde connecté au circuit, ou dans une bobine appartenant à un circuit accordé, couplé magnétiquement avec le solénoïde.

Le résultat, au premier abord inattendu, fut que, avec le tube à iode introduit dans le solénoïde, on n'obtint aucune décharge en anneau. Dans certains cas, l'intensité du courant dans le solénoïde dépassait 6 a, alors qu'avec l'excitation à étincelle, l'anneau vert apparaissait pour des courants d'intensité inférieure à 3 a. La décharge obtenue avec les oscillations non amorties est une lueur continue occupant la totalité du tube. L'apparence est la même, que le tube soit disposé dans le solénoïde ou à l'extérieur. La présence de la feuille de cuivre autour du tube est sans effet sur cette lueur. Ces faits concourent à indiquer que la décharge dans ce cas est d'origine exclusivement électrostatique.

L'explication probable de l'impossibilité d'obtenir de la décharge annulaire réside vraisemblablement dans la forme très différente des courbes d'intensité du courant en fonction du temps, selon que le courant oscillant est amorti ou non. Pour la même intensité moyenne, l'intensité maximum du courant amorti au cours de la première demi-période est considérablement plus grande que celle du courant non amorti. L'excitation sera donc beaucoup plus intense dans le premier cas, car la vitesse maximum acquise par un électron dépend de l'intensité du champ durant chaque demi-période.

Il résulte de cette explication que, pour une vapeur assez ionisable, on doit pouvoir obtenir une décharge annulaire même avec l'excitation non amortie, et les expériences effectuées avec la vapeur de mercure confirment cette prévision. On put vérifier du même coup que la décharge en anneau, d'un blanc éblouissant, obtenue avec le mercure, est bien d'origine électromagnétique, alors que la décharge continue et faible est d'origine électrostatique, ainsi qu'il avait déjà été démontré avec des oscillations amorties.

4. Discussion. — En définitive, pour de faibles excitations, la décharge est électrostatique et, lorsque l'excitation croît, la décharge électromagnétique s'établit soudain, et son intensité est alors bien plus grande que celle de la décharge électrostatique. Townsend et Donaldson ont montré que le rapport $\frac{E_s}{E_m}$, entre les forces électromotrices d'origine électrostatique et électromagnétique, est supérieur à 30 pour un solénoïde ordinaire. D'autre part, les expériences décrites ci-dessus indiquent que, bien qu'à l'extérieur du tube, E_s soit beaucoup plus grand que E_m, à l'intérieur au contraire E_s doit être bien moindre que E_m, ou bien que les électrons excitateurs ne peuvent, au cours de leur trajet d'origine électrostatique, et pour la même raison, acquérir une vitesse aussi élevée que ceux qui effectuent leur trajet d'origine électromagnétique.

En ce qui concerne la première suggestion, il fut toujours noté que, quand la lueur électrostatique s'établit dans le tube, les parois de verre situées dans le champ électrostatique s'échauffent rapidement, ce qui est l'indice de grandes pertes de puissance dans le diélectrique. La seule différence entre les lignes de force du champ électrostatique et celles du champ électromagnétique est que les premières ont deux épaisseurs de verre à traverser pour agir sur le gaz, alors que les autres sont entièrement situées dans le gaz. Dans le premier cas, le verre parait agir comme une très grande résistance. Pour de très faibles excitations, E_m est presque négligeable, tandis que E_s, environ 30 fois supérieur à E_m, doit suffire, après en avoir soustrait la chute de potentiel due à la traversée des parois de verre, pour produire une faible ionisation dans le gaz. Cela donne naissance à la faible lueur électrostatique obtenue sous faible excitation. Si l'on fait croître l'excitation, l'intensité du courant tend à croître suivant le trajet électrostatique (verre-gaz-verre). Mais un accroissement de l'intensité du courant à travers le gaz correspond à un accroissement de l'ionisation du gaz, donc à un abaissement de sa résistance, par rapport au potentiel électrostatique. D'autre part, E_m croît directement comme l'excitation. Quand l'ionisation s'établit suivant le parcours annulaire, la résistance tombe; mais comme la totalité de la force électromotrice électromagnétique reste toujours appliquée au circuit annulaire, l'intensité du courant doit y croître plus vite que E_m. Ainsi, une ionisation intense s'établit suivant l'anneau lorsque E_m atteint une certaine valeur.

Quant à la seconde suggestion, on peut noter que les électrons mobiles dans le champ électromagnétique ne rencontrent aucun obstacle, alors que ceux mis en mouvement par le champ électrostatique choquent une paroi de verre aux deux bouts de leur parcours. Si, pour la pression à laquelle l'anneau apparait, le libre parcours moyen des électrons est égal à la distance entre les parois relative au trajet électrostatique, il n'y aura pas à attendre de décharge électrostatique, quel que soit le rapport de E_s à E_m. — L. B.

Sur les phénomènes manifestés par les filaments recouverts d'oxydes (1).

1. Introduction. — L'auteur établit une théorie générale permettant d'expliquer et de prévoir les phénomènes dont sont le siège les filaments recouverts d'oxydes quand on modifie leurs conditions d'utilisation, à savoir : la température, le potentiel de plaque, le sens et l'intensité du courant électronique. Il justifie cette théorie par l'étude des modifications électrochimiques qui se produisent dans la couche d'oxydes quand les précédents facteurs varient séparément.

On sait qu'un filament métallique recouvert d'une gaine d'oxydes, généralement alcalino-terreux, devient, lorsque sa température s'élève, une source intense d'électrons. Les filaments étudiés ici sont de deux types : Dans les uns, la gaine d'oxydes est simplement déposée à la surface du métal de support, du tungstène le plus souvent; dans les autres, du type dit « composite », il y a une combinaison partielle du support avec les oxydes. Ces deux sortes de filaments sont soumis, au cours de leur fabrication, à une « formation » qui consiste à les chauffer vers 1 500° K et à les soumettre en même temps à un champ électrique élevé créé par une plaque analogue, au moins par son action, à celle des tubes à vide.

Une des caractéristiques les plus importantes du filament, dont il sera question au cours de cette étude est son

(1) Joseph-A. Becker. *The physical Review*, 15 novembre 1929, t. xxxiv, (2e série), p, 1323-1351, 12500 mots, 13 figures.

« activité ». Cette grandeur est mesurée par l'intensité du courant électronique émis par le filament à une température donnée. Dans le cas des filaments à oxydes, cette activité dépend de la température, du potentiel de plaque et du courant de la plaque au filament. La valeur et le sens des variations de l'activité sous l'influence des facteurs ci-dessus sont liés à la composition de l'oxyde d'une façon passablement complexe. Il devient dès lors utile de se guider au cours des expériences par une théorie générale des phénomènes observés.

2. Bases de la théorie. — Les points essentiels de la théorie sont basés sur la similitude d'action des filaments de tungstène recouverts de métaux alcalino-terreux, thorium, césium, baryum, et des filaments à oxyde, vis-à-vis des changements de température, de potentiel de plaque et de courant électronique, auxquels ils sont soumis. Si on dépose sur un filament de tungstène pur des quantités croissantes de baryum, par exemple, on constate que son activité croît énormément jusqu'à ce qu'il soit recouvert d'une couche monoatomique de métal. Elle passe alors par un maximum net et décroît ensuite si l'apport augmente. Si l'on fait intervenir de l'oxygène sur ce dépôt métallique, l'activité se trouve modifiée en fonction des quantités respectives d'oxygène et de baryum en présence. En partant d'une couche monoatomique de métal, une petite quantité d'oxygène accroît l'activité qui passe par un maximum et diminue si la quantité d'oxygène augmente. Si, au contraire, l'oxygène est localisé, non plus à la surface du baryum, mais entre le tungstène et lui, il y a toujours augmentation de l'activité.

La théorie proposée consiste à admettre que l'accroissement de l'activité dans les filaments à oxyde est due à un dépôt de baryum métallique à la surface de l'oxyde (1) et que ce dernier, déposé à la surface du tungstène chaud, s'électrolyse au passage du courant électronique. Selon que l'on envoie des électrons sur le filament, au moyen d'un deuxième filament par exemple, ou que l'on en laisse s'échapper, le sens de l'électrolyse change. Dans le premier cas, il y a, à la partie externe de l'oxyde, dépôt de baryum métallique électropositif, l'oxygène se localisant entre le tungstène et l'oxyde. L'activité du filament se trouve altérée de la même façon que celle d'un simple fil de tungstène que l'on recouvre de baryum. Dans le deuxième cas, c'est l'oxygène qui se porte à la surface de la gaine et on retrouve les mêmes particularités que dans le cas où on a affaire au système déjà vu : tungstène, baryum, oxygène. En particulier, l'action de l'oxygène sur l'activité dépendra de la quantité de baryum déjà déposée à la surface de l'oxyde. Il est à prévoir, d'ailleurs, que ces vues théoriques seront, en pratique, quelque peu altérées par la diffusion des produits de l'électrolyse à travers la couche d'oxydes, diffusion d'autant plus rapide que la température sera plus élevée, c'est-à-dire l'agitation thermique plus intense.

3. Vérification expérimentale de la théorie. — 1° *Dispositif utilisé.* — Pour vérifier expérimentalement ces assertions, l'auteur utilise des tubes à vide contenant trois filaments. Deux d'entre eux que nous désignerons par F_1 et F_3 sont en alliage de platine et nickel recouvert d'un mélange d'oxydes de baryum et de strontium. Le troisième, F_w, est un simple ruban de tungstène tendu entre les deux premiers. Une plaque, entourant les trois filaments, sert à créer un champ électrostatique à l'intérieur du tube. L'un des deux premiers filaments, F_3, par exemple, est généralement « formé » au cours du vidage, le deuxième restant intact.

Les résultats expérimentaux ont porté sur les huit points ci-dessous qui vérifient les traits essentiels de la théorie admise.

2° *Résultats expérimentaux.* — *a*) Mise en liberté de baryum par le filament. — Le filament F_3 est porté seul à 1 230° K pendant 10 minutes. Après refroidissement du tube, on trouve que l'activité du filament F_w a augmenté. Si la température s'élève au-dessus de 1 250°K ou bien si un courant circule du filament vers la plaque, il y a mise en liberté d'oxygène, soit libre soit à l'état d'oxydes. A basse température ou en l'absence d'émission, d'électrons aucun phénomène n'a lieu.

b) Mise en liberté d'oxygène. — Si on chauffe le filament F_3 vers 800°K et si on porte la plaque à un potentiel positif tel que le courant ne soit pas limité par la charge d'espace, il se dégage de l'oxygène dont la présence est décelée par une diminution de l'activité de F_w. Cet oxygène n'est pas chargé électriquement, car la vitesse de la décroissance de l'activité de F_w n'est pas changée lorsque ce dernier est chargé négativement par rapport à F_3. La vitesse de la production de l'oxygène croît avec le potentiel de plaque, mais elle n'a lieu qu'à une température inférieure à celle qui correspond à l'évaporation du baryum.

c) Activation par dépôt de baryum sur l'oxyde. — On peut déposer du baryum à la surface du filament F_1, en en faisant s'échapper de F_3 par chauffage à 1 250°K, ou bien en envoyant des électrons sur ce filament de façon à produire une électrolyse de l'oxyde. Dans les deux cas, on constate une augmentation de l'activité tout à fait semblable à celle qu'on observe sur un simple fil de tungstène, toutefois avec un maximum moins aigu. Cela est dû sans doute à ce que l'activité mesurée est relative à l'ensemble du filament, y compris ses extrémités froides. Tous les points ne passent pas alors simultanément par l'activité maximum.

Dans le cas d'une formation électrolytique du baryum, on note aussi que la quantité d'électricité envoyée dans l'oxyde pour obtenir une couche monoatomique de baryum sur le filament est environ 200 fois plus grande que celle qui correspond à la charge du baryum libéré. On en déduit que 1/200 seulement du courant électronique total est transporté par les ions à l'intérieur de l'oxyde, le reste étant porté par les électrons seuls.

d) Diffusion du baryum dans l'oxyde. — Le baryum ainsi déposé à l'extérieur du filament diffuse à l'intérieur et se combine à l'oxygène pour redonner l'oxyde. On constate, en effet, que des filaments ayant fonctionné pendant 15 000 heures contiennent encore une notable quantité d'oxydes bien que le courant ait dû, depuis longtemps, en produire l'électrolyse complète. On note ainsi qu'une quantité de baryum égale aux 998/1 000 du poids de baryum produit diffuse à travers l'oxyde et se recombine à l'oxygène sous-jacent.

e) Effet de l'oxygène sur l'activité. — Si on fait émettre un courant par le filament, on a vu qu'il s'en évapore de l'oxygène. On remarque en même temps que l'activité décroît. Pour l'expliquer on suppose que quelques atomes d'oxygène chargés négativement restent à la surface de l'oxyde et retiennent les électrons. La diminution d'activité n'est, en effet, pas due à une combinaison de l'oxygène avec la couche superficielle de baryum, car cette combinaison est instable et, d'autre part, une élévation de température favorisant l'agitation thermique accroît l'activité en libérant de l'oxygène.

Sur un filament non formé, l'action est plus complexe. Si

(1) Le terme baryum pourrait désigner, dans cette étude, aussi bien le métal lui-même que n'importe quel autre métal alcalino-terreux, strontium, césium, etc.

la couche d'oxygène formé par électrolyse reste localisée près du support de tungstène, les ions Ba++ vont à l'extérieur et l'activité mesurée croît. Si la température s'élève, la concentration en ions O−− augmente et quelques ions diffusent à l'extérieur diminuant ainsi l'activité. Dans un filament déjà formé, la couche d'oxygène est tout près d'être saturée et dès que le filament est chauffé les ions O−− se portent à sa surface et l'activité diminue.

f) Diffusion de l'oxygène. — Si on chauffe fortement un filament dont l'activité a été réduite par la présence d'oxygène, celle-ci augmente. Il y a donc disparition de la couche superficielle d'oxygène. Comme il est toutefois impossible de déceler, spectrographiquement, la présence du gaz dans le tube, il est probable que l'oxygène libéré ne s'échappe pas, mais diffuse à l'intérieur de l'oxyde.

g) Facteurs qui régissent l'importance de l'électrolyse. — On a vu que, dans le cas du baryum, le courant dû aux ions n'est que le 1/200 du courant total. La valeur de ce rapport n'est pas fixe et varie avec la température.

Pour l'oxygène, la vitesse de production semble être aussi proportionnelle au courant total et par suite au potentiel de plaque. Toutefois, le fait qu'il ne se produit pas d'oxygène pour de faibles valeurs de ce potentiel (le courant étant limité par la charge d'espace) montre qu'à l'intérieur de l'oxyde la loi d'Ohm ne s'applique pas. Pour ces faibles valeurs du potentiel de plaque, l'électrolyse ne se produit pas et il n'y a pas de courant à l'intérieur de l'oxyde. Les électrons s'échappent par simple diffusion. On ne sait rien de la façon dont la température agit sur la formation de l'oxygène.

h) Variation des propriétés du filament en fonction du temps. — L'observation des changements qui se produisent avec le temps en fonction de la température de formation ou des traitements antérieurs dans les filaments non combinés permet à l'auteur de prédire la façon dont se comporteront les filaments du type composite. Toutefois il est ici impossible de donner une interprétation générale des faits observés avant que l'étude de ces variations ait été poussée plus avant. — A. A.

L'amplificateur apériodique dans la technique des mesure (1).

Le sujet de cet article est l'utilisation du pouvoir amplificateur des lampes à trois électrodes pour mesurer de très faibles tensions à basse et à haute fréquence, car la sensibilité des instruments de mesure électriques est très limitée.

Un tel amplificateur doit satisfaire à plusieurs conditions. Il faut que son degré d'amplification soit constant pendant des périodes de temps assez longues, qu'il soit indépendant de la fréquence et qu'il puisse être modifié d'une manière déterminée pour obtenir différentes sensibilités. Les diverses conditions de fonctionnement se réalisent facilement lorsqu'on relie entre eux, par des résistances convenables, les différents étages de l'amplificateur et que l'on réduit la capacité de ce dernier au minimum. Avec un montage apériodique des lampes, on obtient également un réglage facile des sensibilités. La résistance à l'entrée de l'amplificateur est, pour les basses fréquences inférieures à 10000 p:s, de l'ordre de 10^6 ohms et davantage; pour les hautes fréquences inférieures à 1300000 p:s, cette résistance est de plus de 2×10^4 ohms. La résistance à la sortie de l'amplificateur est relativement faible afin de permettre à l'instrument de mesure, qui suit immédiatement, de pouvoir être relié sans inconvénient. L'amplificateur apériodique à haute fréquence présente sur l'amplificateur accordé l'avantage de ne pas avoir de tendance à la vibration, tendance que produisent les réactions s'exerçant entre les étages par la voie de la capacité de la grille anodique. La combinaison d'un amplificateur avec un voltmètre de lampes ou électromètre est d'une importance tont à fait spéciale. On a, notamment, réussi à mesurer avec une telle combinaison des tensions à haute fréquence de l'ordre de 10^{-5} v et cela, en un temps de mesure extrêmement court. On est également arrivé, en combinant un tel amplificateur à une lampe de Braun, à enregistrer à l'aide d'un oscillographe des phénomènes qui, jusqu'ici, se sont soustraits à toute mesure, en raison de la petitesse des tensions mises en jeu. — P. D.

(1) Manfred von Ardenne. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 7 novembre 1929, t. L, p. 1617-1620, 2000 mots, 7 figures.

Effet de la lumière sur l'émission thermoionique (1).

1. Exposé de la question. — L'auteur reprend l'étude expérimentale de l'action accélératrice de la lumière ultraviolette sur l'émission électronique des filaments non homogènes. Il explique les résultats observés par une modification des conditions de l'émission des électrons par l'effet photoélectrique de la lumière employée.

On a déjà remarqué, depuis quelques années, que la lumière et, en particulier, les radiations ultraviolettes avaient une action favorable sur l'émission des électrons par les filaments incandescents à oxydes — les filaments nus étant pratiquement inertes à ce point de vue — et que cette action était maximum aux environs de 2500 Å. Cet effet est généralement attribué à une très importante et même anormale action photoélectrique s'ajoutant à l'effet thermoionique habituel. Il semble que cette explication soit insuffisante et dans le but d'apporter quelque lumière dans le débat, l'auteur a repris l'étude expérimentale des phénomènes.

L'appareil utilisé est un tube à vide, en quartz, muni d'un filament et d'une plaque cylindrique, ces deux électrodes étant entourées d'un écran relié au pôle du filament. Ce dernier est un étroit ruban de platine recouvert d'un mélange d'oxydes de baryum, strontium et calcium. La lumière d'un arc au fer, ou mieux, au mercure, est projetée sur le filament. Cette lumière, filtrée par des écrans convenables, a une longueur d'onde variant entre 4000 et 2300 Å. Le courant électronique entre la plaque et le filament, compensé par un dispositif potentiométrique, passe dans un galvanomètre qui peut être ainsi utilisé à son maximum de sensibilité et déceler de très faibles variations de ce courant.

2. Résultats. — Les résultats expérimentaux, résumés ci-dessous, ont permis de déterminer l'influence de trois facteurs principaux.

1° *Influence du potentiel de plaque.* — Si on laisse constante la température du filament, on remarque que l'efficacité de la lumière croit si on augmente le potentiel de plaque jusqu'à une valeur de 2 v et reste constante au delà de cette limite.

2° *Influence de la température du filament.* — La plaque étant portée à un potentiel de 3 v on augmente graduellement la température du filament. L'action de la lumière augmente jusqu'à 1000° et décroît ensuite rapidement; à 1200° elle n'est plus que le quart de la valeur maximum. On note également qu'en élevant brusquement la température du filament et en la ramenant ensuite à la température

(1) Kirsten Newbury. *The physical Review*, 1er décembre 1929, t. XXXIV (2e série), p. 1418-1425, 2000 mots, 3 figures et 2 tableaux.

primitive, il se produit une augmentation du courant électronique et une croissance proportionnelle de l'action photoélectrique.

3° *Influence de la fréquence de la lumière.* — En interposant des filtres divers sur le trajet de la lumière de l'arc il est aisé, connaissant les caractéristiques de ces filtres, de déterminer les limites des fréquences de la lumière utilisée et l'intensité relative des radiations agissantes. En rapportant le courant électronique à une même unité d'intensité pour des fréquences variables, on trouve que de 4 000 à 2 600 Å, l'action de la lumière est faible, mais présente un maximum vers 3 400 Å. La sensibilité du filament (qui est nulle à 4 000 Å) croît ensuite énormément quand la longueur d'onde diminue. Elle est environ dix fois plus forte à 2 400 Å qu'à 2 500 Å. La sensibilité photoélectrique à la température ordinaire a une variation absolument identique quoique environ 300 fois plus faible.

3. Conclusion. — Il semble peu probable que, ainsi que Crew a essayé de le montrer, il y ait simple superposition d'un effet photoélectrique anormal à l'effet thermoionique habituel. Il serait en effet difficile d'expliquer dans ce cas l'influence du potentiel de plaque en particulier. Or, à température donnée, le courant électronique ne peut varier que si l'énergie nécessaire à l'extraction des électrons varie. Becker et Mueller ont fait observer que dans l'émission d'électrons par un filament non homogène, cette énergie a pour origine la présence sur la surface extérieure du métal qui se dépose sur la couche d'oxydes d'une charge électrique positive. Il est permis de croire que la lumière, frappant le filament, produit un effet photoélectrique normal qui libère des électrons et accroit aussi la valeur de cette charge. La distance à laquelle le champ créé par cette charge et le champ dû au potentiel de plaque s'annulent mutuellement se trouve ainsi augmentée et on s'explique alors l'influence de la valeur de ce dernier sur l'intensité du phénomène. — A. A.

Ions et courants dans les couches supérieures de l'atmosphère terrestre (1).

Le développement, durant les cinq dernières années, de la théorie physique de la haute atmosphère, guidé par les faits relatifs à la propagation des ondes hertziennes, nous a renseignés quelque peu sur le rôle qu'y jouent les électrons. En particulier, l'auteur du présent travail était parvenu, en 1928, à la conclusion que l'ionisation de la haute atmosphère était due à la lumière ultraviolette émanant du soleil, et que la densité des électrons croissait avec l'altitude jusqu'à un maximum d'environ 3×10^5 fois la charge d'un électron par centimètre carré à environ 190 km, le soleil étant au zénith et à une époque intermédiaire entre les périodes du minimum et du maximum d'activité solaire. L'observation des ondes hertziennes montre que l'ionisation se produit, au-dessous de 190 km, jusqu'aux environs de 100 km d'altitude, et permet d'assigner une limite supérieure au degré d'ionisation dans cette région, mais non de décider si l'ionisation est électronique ou ionique. Des calculs théoriques précis du degré d'ionisation au-dessous de 190 km n'étaient pas possibles parce que de nombreux faits relatifs à la photoionisation des gaz atmosphériques étaient, et sont du reste encore, inconnus.

Fort heureusement, les faits relatifs au magnétisme terrestre et leur interprétation physique ont fourni de nouveaux moyens d'accès à l'ionisation au-dessous de 190 km. Gunn (1928, 1929) a remarqué que les ions à grand libre parcours dans un champ magnétique étaient diamagnétiques et il a pu édifier sur cette base sa théorie diamagnétique des variations diurnes du champ magnétique terrestre.

L'auteur, en partant des lois de recombinaison des ions, de celles qui régissent leur diffusion et leurs déplacements dans les champs magnétique, électrique et de gravitation de la terre, a pu déterminer la répartition des ions dans l'atmosphère, et la répartition ainsi obtenue s'est montrée conforme aux précisions fournies par les données relatives à la propagation des ondes hertziennes et avec la théorie de Gunn.

Il a trouvé ainsi que des courants électriques dus aux déplacements gravitationnels des ions circulent principalement suivant des parallèles terrestres et se répartissent de la façon suivante :

1° Une nappe de courant ayant pour siège l'hémisphère éclairé et circulant vers l'est à des niveaux supérieurs à 150 km et se divisant en deux autres nappes aux longitudes du lever et du coucher actuels du soleil; 2° l'une de ces nappes circule vers l'ouest, dans l'hémisphère éclairé, et au-dessous de la nappe précitée, donc à des niveaux inférieurs à 150 km; 3° l'autre nappe divisionnaire prolonge vers l'est la circulation de la première nappe de courant, en traversant l'hémisphère terrestre non éclairé. La plus grande partie du courant, soit les 4/5 environ, circule entre les parallèles nord et sud de 40° de latitude, pour descendre à de faibles valeurs aux latitudes plus élevées. Les intensités totales des courants circulant dans les trois nappes sont de $1{,}16 \times 10^7$; $8{,}7 \times 10^6$ et 2.9×10^6 A, respectivement. Les intensités des nappes de courant de sens contraire de l'hémiphère éclairé donnent un effet résultant d'environ $2{,}9 \times 10^6$ A, circulant en permanence autour de la terre. Ce courant résultant donne lieu à un champ magnétique dont la grandeur et le type sont conformes aux résultats obtenus par Bauer en 1922, au cours de son analyse du champ magnétique terrestre d'origine extérieure.

En raison des courants d'ions, les points de l'atmosphère situés à la latitude du coucher du soleil sont à un potentiel d'environ 2 000 v plus élevé que celui des points situés à la latitude du lever du soleil. Le champ électrique qui en résulte, combiné avec le champ magnétique terrestre, provoque un déplacement vers le haut des ions et électrons, avec des vitesses comprises entre 100 et 20 cm : s, sur l'hémisphère non éclairé de la terre. Il faut remarquer d'ailleurs que les ions et électrons se meuvent dans des régions de basse pression et par conséquent ne se recombinent pas aussi vite qu'ils le feraient dans d'autres circonstances; ceci fait disparaître une difficulté qui s'était présentée au cours d'un calcul antérieur; celui-ci avait conduit à une trop grande vitesse de disparition des charges libres pendant la nuit.

Le déplacement de la couche ionisée de Kennelly-Heaviside vers le haut est, au moins en partie, compensé par la chute due au refroidissement et à la contraction de l'atmosphère pendant la nuit; elle est d'autre part compliquée par la diffusion des ions. C'est pourquoi il est malaisé de dire dans quelle mesure l'élévation nocturne de la couche ionisée, observée au moyen des ondes hertziennes, est un effet pur, ou un effet apparent dû à la superposition de causes multiples. — L. B.

(1) E.-O. Hulburt. *The physical Review*, 15 octobre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1 167-1 183, 6 500 mots, 3 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile

Dans cet article, l'auteur donne un aperçu des différentes théories émises sur le processus de la rupture dans les interrupteurs automatiques dans l'huile. La plus récente de ces théories est celle du piston d'huile, qui rend compte de la plupart des phénomènes observés au cours d'essais de rupture effectués avec de fortes puissances. Les recherches exécutées à l'aide de prises cinématographiques au ralenti, en utilisant un interrupteur à parois transparentes, ont permis de confirmer cette théorie et de déterminer, en outre, les constantes qui interviennent dans les formules servant au calcul des dimensions des interrupteurs. Les conclusions de ces essais et, en particulier, celles concernant la température et le refroidissement des gaz ont reçu par ailleurs une confirmation expérimentale.

I. **Introduction**. — La question des interrupteurs dans l'huile est certainement une de celles qui occupent actuellement le plus les électriciens. Il y a un peu plus de trente ans que les premiers appareils de ce genre furent mis en service. Peu de temps après, Rice indiqua dans un brevet (1) de nouveaux moyens d'exécution en relevant les difficultés qu'on rencontre lors de ruptures dans l'huile « sous une tension très élevée comprise entre 5 000 et 40 000 v et tout particulièrement quand l'intensité du courant dépasse 100 ou 200 A ».

L'essor prodigieux pris depuis cette époque par l'industrie électrique n'a été possible que grâce aux progrès réalisés dans la technique de l'appareillage et de la construction des machines, en particulier dans la construction des interrupteurs dans l'huile, utilisés à l'heure actuelle dans des installations de grande puissance. Si la conception et la réalisation de ces appareils donnent si souvent lieu à des discussions, c'est que la construction ainsi que les méthodes de calcul sont encore bien différentes d'un constructeur à l'autre. Car, malgré la simplicité du fonctionnement des interrupteurs, les phénomènes physiques et mécaniques qui se manifestent au moment de la rupture sont très complexes. Les observations, recueillies auparavant par les exploitants sur le fonctionnement de différents appareils, étaient insuffisantes pour permettre de porter un jugement définitif sur les théories établies pour expliquer la facilité de la rupture de l'arc dans l'huile.

Depuis quelque temps, on cherche de plus en plus à se libérer de l'empirisme en remplaçant des estimations plutôt arbitraires par des calculs basés sur des mesures et des expériences méthodiques. Cette orientation s'est révélée très féconde depuis les recherches entreprises en 1915 sur les suggestions du professeur Wyssling par l'Association suisse des Electriciens. L'interprétation des résultats des essais effectués et l'analyse théorique approfondie exposées dans les quatre rapports de B. Bauer (1) présentent le plus grand intérêt. D'autres publications relatant les constatations faites au cours d'essais de grande puissance, ou bien les résultats de recherches méthodiques, ont permis, depuis, de compléter les connaissances acquises dans ce domaine.

(1) *Brevet n° 812 880*, déposé en 1899 aux Etats-Unis.

II. **Les anciennes théories sur la rupture dans l'huile et la théorie du piston d'huile**. — Les interrupteurs dans l'air, utilisés dans les premières installations électriques à haute tension, ont présenté de sérieux inconvénients résultant, en premier lieu, de la longueur excessive des arcs de rupture qui se formaient entre les contacts. L'adoption de l'interrupteur à bain d'huile a marqué à ce point de vue un progrès, puisque, d'une part, ces appareils travaillent sans étincelle externe, et que, d'autre part, la longueur des arcs a été effectivement réduite grâce à l'action d'extinction produite par l'huile.

Parmi les opérations qu'un disjoncteur effectue dans une installation moderne, la plus importante est indiscutablement celle de la rupture des courants de court-circuit. A cet effet, l'interrupteur est généralement déclenché par un relais ; à l'ouverture, l'accroissement graduel de la résistance de contact est suivi de la formation d'un arc, dont la tension est ici désignée par *e*. Comme nous le verrons plus loin, cet arc s'éteint à chaque passage du courant alternatif par zéro et s'amorce à nouveau sous l'action de la tension se rétablissant aux bornes. L'arc existe généralement tant que la distance entre contacts n'a pas atteint une certaine valeur pour laquelle la tension apparaissant

(1) *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 1915, p. 137 et 300 ; 1916, p. 85 ; 1917, p. 225 et 273.
Voir aussi : *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 1914, p. 24.

entre les bornes ne suffit plus pour le faire réamorcer : la rupture est alors effectuée.

Ce processus donne lieu à une dissipation d'énergie, appelée *travail de rupture*

$$A = \int_{t_1}^{t_2} e\,i\,\mathrm{d}t = \sqrt{2} \int_{t_1}^{t_2} e\,I \sin \omega t\,\mathrm{d}t\ (^1),$$

qui est absorbée par le milieu ambiant et qui provoque l'échauffement et la vaporisation du métal des électrodes, la dissociation et la vaporisation de l'huile, l'ionisation de la gaine gazeuse, etc.

La plus grande partie de cette énergie est employée pour l'échauffement et la vaporisation de l'huile et provoque brusquement un dégagement important de gaz à l'intérieur de l'interrupteur. Ces gaz, pour s'échapper, doivent tout d'abord déplacer l'huile, en un temps relativement court. Ce phénomène est accompagné d'une accélération rapide de l'huile et ne peut s'accomplir sans à-coups de pression qui, dans certaines conditions, sont à même d'amener la détérioration de l'interrupteur. La grande difficulté de la mesure directe des contraintes subies par les appareils réside dans la rapidité avec laquelle ces à-coups se manifestent. Quelques mesures de ce genre ont été cependant publiées déjà en 1911 par Merriam (2), qui constate que l'allure des pressions, enregistrées dans des interrupteurs à pots, présente des pulsations rapides.

En 1915, Fleischmann (3) calcula les à-coups de pression pouvant se produire dans un interrupteur de forme sphérique complètement rempli d'huile, la rupture se faisant au centre de la sphère. En appliquant ces calculs à une sphère de 100 cm de diamètre ayant des parois de 3 mm d'épaisseur, cet auteur arrive à des valeurs très élevées, de l'ordre de 130 kg : cm². Il relève en même temps que des pressions très importantes peuvent encore être constatées même si un espace libre est prévu au-dessus du niveau d'huile.

D'après Bauer (4), la rupture dans l'huile est généralement accompagnée de la formation d'arcs et d'un dégagement de chaleur. Ce dernier produit des gaz, de sorte que l'arc brûle dans une sphère gazeuse dont le volume croît continuellement. Tant que la pression p_i à l'intérieur de cette sphère est inférieure à la pression p_e de l'huile entourant la bulle, celle-ci se développe normalement. Par contre, si la pression p_i est supérieure à la pression p_e, le processus de rupture prend une autre allure que Bauer désigne par anormale : le disjoncteur « fume », projette de l'huile ou même, si la différence entre p_i et p_e n'est pas rapidement égalisée, fait explosion.

Les à-coups de pression, dont l'origine se trouve à l'intérieur de la bulle gazeuse, provoquent un travail de déformation des parois de la cuve et peuvent être, dans certaines conditions, la cause première de la destruction du disjoncteur. Celle-ci serait ainsi provoquée sans qu'une déflagration des gaz accumulés ait lieu (1).

Une autre forme de rupture anormale se produit, d'après Bauer, quand la couche d'huile se trouvant au-dessus des contacts est percée par l'effet de la pression trop élevée qui s'établit dans la bulle gazeuse, permettant ainsi la formation d'une « cheminée gazeuse ». Les gaz surchauffés qui s'échappent par cette cheminée peuvent dans ce cas entrer en contact avec l'air se trouvant au-dessus de l'huile et former avec ce dernier un mélange détonant. La température élevée des gaz est alors souvent la cause d'une déflagration qui peut être suivie d'une explosion de l'interrupteur.

Pour pouvoir calculer en première approximation la pression p à l'intérieur de la sphère gazeuse, il faut connaître, d'une part, comment les gaz se développent en fonction du temps et, d'autre part, la quantité d'huile déplacée par les gaz engendrés. En désignant par h la hauteur d'huile au-dessus du centre de la sphère gazeuse, de diamètre d, et en admettant une pression statique p_0 à la profondeur h, Bauer arrive à l'équation suivante

$$p = p_0 + \frac{\gamma h}{g} \frac{\mathrm{d}^2 d}{\mathrm{d}t^2},$$

où γ est la densité de l'huile et g, l'accélération de la pesanteur.

Si l'on écrit pour le travail de rupture la relation

$$A = at^2$$

et pour les gaz développés

$$\dot{G} = kA = ct^2 = \frac{p}{RT} \frac{\pi d^3}{6},$$

T étant la température absolue et R, la constante des gaz, on en déduit l'équation

$$p = \frac{6}{\pi} \times \frac{ct^2 RT}{d^3} = p_0 + \frac{\gamma h}{g} \times \frac{\mathrm{d}^2 d}{\mathrm{d}t^2}.$$

D'une analyse graphique de cette expression, Bauer tire la conclusion que la pression p dans la sphère peut avoir, sous l'influence des forces dues à l'accélération de l'huile, un caractère oscillatoire, l'amplitude de ces oscillations augmentant avec la hauteur h de l'huile au-dessus des contacts. Si, comme le dit cet auteur, l'on augmente graduellement le travail de rupture,

(1) I désigne la valeur efficace du courant alternatif pendant la rupture. Généralement on peut négliger son amortissement qui se produit pendant l'intervalle très court $(t_2 - t_1)$. Toutefois, sous l'influence de la résistance de l'arc, I diminue quelquefois sensiblement vers la fin de la coupure.

(2) Merriam ; Some recent tests of oil circuit breakers. *Proceedings of the american Institute of electrical Engineers*, 1911, p. 1431.

Ces essais ont été exécutés avec un turboalternateur de 12000 kw, 9 kv, 25 p : s.

(3) Fleischmann ; Bestimung der in Oelschaltern auftretenden Drucke. *Archiv für Elektrotechnik*, 1915, p. 86.

(4) B. Bauer. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, janvier 1914, p. 24.

(1) *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, novembre 1915, p. 304.

l'allure de la pression p cesse à la limite d'être oscillatoire ; le premier à-coup de pression peut alors suffire pour percer la couche d'huile et former la cheminée gazeuse. Si le courant et la tension de rupture augmentent encore davantage, non seulement les gaz, mais aussi la gaine ionisée peuvent monter par la cheminée en atteignant l'espace situé au-dessus de l'huile. Une déflagration du mélange de gaz détonant est alors inévitable.

Avec un appareil photographique donnant une dizaine d'images à des intervalles de 0,005 seconde, Lichtenberg (1) a pu enregistrer le processus de rupture, et le décrit de la façon suivante : les gaz produits par l'arc l'entourent d'une bulle sphérique. La pression à l'intérieur de celle-ci, qui peut atteindre dans des conditions extrêmes plusieurs milliers de kilogrammes par millimètre carré, déplace l'huile et en fait monter le niveau ; c'est pour cette raison que l'on prévoit dans les interrupteurs bien conçus un matelas d'air entre le couvercle et l'huile. L'arc s'allonge à mesure que les contacts s'éloignent l'un de l'autre, tandis que la bulle gazeuse grandit sous l'influence de la pression interne. Cette bulle conserve sa forme sphérique jusqu'à ce que les contacts en sortent, ou bien qu'elle rencontre sur son chemin les parois de l'interrupteur. Quand le contact mobile, et avec lui l'arc, sortent de la sphère gazeuse, la pression dans cette dernière peut diminuer en provoquant un éclatement de la bulle, en soufflant l'arc et en donnant lieu quelquefois à des projections d'huile. Si l'interrupteur fonctionne correctement, ce phénomène est généralement la seule manifestation de la rupture. D'après cet auteur, il peut se produire dans certains circuits une complication du processus : l'éclatement de la première bulle n'empêche pas l'allongement de l'arc qui pénètre dans de nouvelles couches d'huile. Des bulles de gaz se forment alors de nouveau, mais la pression développée est inférieure à celle de la première bulle. Ces bulles éclatent à leur tour l'une après l'autre jusqu'à ce que, avec l'éclatement de l'une d'elles, l'arc s'éteigne définitivement.

En examinant les photographies publiées par Lichtenberg, il semblerait que le contact mobile de l'interrupteur utilisé eût eu à la rupture un mouvement ascensionnel, ce qui explique les observations qu'il a faites au sujet de l'éclatement des bulles. Il est intéressant de relever que, sur ce point, il y a une certaine analogie avec la théorie, citée plus haut, de la cheminée gazeuse de Bauer, à cette différence près que, pour ce dernier, la formation de la cheminée entre la bulle et le matelas d'air ne provoque généralement pas d'extinction d'arc, mais, au contraire, semble favoriser son entretien.

Dans une publication plus récente, Brühlmann (2) a attiré l'attention sur le fait que lors de la rupture de courts-circuits violents, la production rapide d'une grande quantité de gaz est presque toujours accompagnée de la formation d'une seule bulle gazeuse entourant complètement les contacts et ayant au début la forme d'une sphère. La rapidité avec laquelle cette sphère repousse, en se développant, la couche d'huile la séparant du matelas d'air est telle que le phénomène prend le caractère d'une explosion. La pression à l'intérieur de la bulle serait par conséquent en premier lieu déterminée par les forces nécessaires à l'accélération de la masse d'huile déplacée. La couche d'huile au-dessus de la bulle gazeuse est projetée comme un piston contre le couvercle. Les conditions sont d'ailleurs d'autant plus favorables à la formation du piston d'huile que le nombre de ruptures utilisées est plus élevé. Par son mouvement ascendant, l'huile refoule par les évents ménagés dans le couvercle de l'interrupteur l'air se trouvant dans celui-ci. En atteignant le couvercle, l'huile, qui remplit en ce moment à peu près tout l'espace libre, est brusquement arrêtée dans son mouvement, ce qui produit un coup de bélier. Si la rupture n'est pas encore terminée, les gaz dégagés, n'ayant pratiquement plus d'espace pour se détendre, provoquent une élévation de pression dans l'interrupteur ; une certaine quantité d'huile est alors généralement projetée par les évents, phénomène qui accompagne normalement toute coupure violente. Dans un interrupteur mal conçu et ayant un matelas d'air insuffisant, les gaz engendrés par les arcs peuvent produire une augmentation de pression dépassant les contraintes admissibles pour la cuve ou le couvercle. Il s'ensuit une destruction, quelquefois même une explosion de l'appareil qui, en soi, n'a rien de commun avec une déflagration des gaz détonants : cette destruction est analogue à l'explosion d'une chaudière, en cas de non fonctionnement des soupapes de sûreté.

En ce qui concerne le danger d'une déflagration des gaz détonants lors de la coupure même, Brühlmann fait remarquer que pendant le processus de rupture, les gaz chauds ainsi que l'arc sont continuellement séparés du matelas d'air par le piston d'huile. Si un mélange détonant provenant d'une rupture précédente se trouve dans l'interrupteur, il sera généralement refoulé par les évents et, en tout cas, ne pourra pas entrer en contact direct avec les gaz incandescents de la gaine ionisée.

La description du processus de rupture donnée par Brühlmann explique la constatation faite fréquemment au cours des essais de rupture avec de grandes puissances que les interrupteurs pour tensions moyennes sont presque toujours soulevés à quelques centimètres du sol au moment de la rupture, lorsque la fixation de l'appareil est insuffisante. Ce phénomène serait la conséquence du coup de bélier dont il a été question plus haut.

Des travaux de Bauer (1), aussi bien que de ceux de Brühlmann, il résulte que la détermination rationnelle

(1) Ch. Lichtenberg. *Transactions of the american Institute of electrical Engineers*, 1918, t. xxxvii, p. 157.

(2) G. Brühlmann ; Die theoretischen und praktischen Grundlagen für den Bau, die Wahl und den Betrieb von Oelschaltern. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, février 1925, t. xvi, p. 81-104.

(1) *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, octobre 1917, t. viii, p. 275 et 276.

du volume d'air est de toute importance pour la construction des interrupteurs, la pression développée dans l'appareil étant fonction de l'importance de ce volume. D'autre part, la formation du piston d'huile, au moment de la rupture, ne peut empêcher en aucune manière les gaz de se mélanger ultérieurement avec l'air pénétrant par les évents dans l'interrupteur. On peut même s'attendre à ce qu'il se forme progressivement sous le couvercle un mélange détonant, de proportion correspondant au plus fort pouvoir explosif. L'allumage de ce gaz peut, par exemple, être causé par une étincelle de décharge sur l'isolateur. La déflagration se produit alors généralement sans compression préalable ; elle peut cependant provoquer des pressions assez importantes, dont il faut tenir compte dans le calcul des différentes parties de l'appareil. Toutefois, les pressions dues aux gaz développés lors des coupures normales peuvent atteindre, suivant la conception de l'appareil, des valeurs encore plus élevées, de sorte qu'une déflagration du mélange détonant sans compression préalable ne pourrait dans ce cas causer la destruction de l'appareil.

Pour déterminer la contrainte mécanique à laquelle peut être exposé un disjoncteur à la suite d'une rupture, il faut donc connaître la quantité de gaz dégagée et pour cela le travail de rupture, c'est-à-dire la quantité de chaleur dégagée par l'arc. Bauer a déduit de ses recherches qu'une quantité de 46,5 cm^3 de gaz, à la température et à la pression normales, est produit par une énergie de 1 kilowatt-seconde. Brühlmann indique le chiffre de 50 cm^3 et remarque que le volume à chaud peut atteindre une valeur 7,5 fois supérieure, c'est-à-dire 375 cm^3. Il faut, en effet, tenir compte des vapeurs d'huile qui se condensent et ne sont pas comprises dans le volume du gaz mesuré à froid.

Le problème du calcul des dimensions des interrupteurs, abstraction faite des questions d'isolement, se réduit donc à la détermination de la durée et de la longueur des arcs dans des conditions données de rupture et au calcul du volume des gaz dégagés. Les essais décrits plus loin montrent en effet que la théorie du piston d'huile peut servir de base à la méthode de calcul des contraintes que subissent les disjoncteurs. Une sensible élévation de pression à l'intérieur de l'appareil, muni d'évents appropriés, ne peut se produire que si l'huile projetée vers le couvercle obstrue pendant un certain temps ces évents et empêche les gaz de s'échapper. Si donc on connaît d'avance le travail de rupture qu'un disjoncteur doit pouvoir supporter dans les conditions données du service, on pourra calculer en conséquence toutes les parties de l'appareil. Etant donné les difficultés que l'on rencontre en essayant de résoudre ce problème par la méthode purement théorique, il est indiqué d'appliquer la méthode expérimentale. Seules, des expériences systématiques peuvent, en effet, mettre en évidence le rôle des divers facteurs influençant la coupure dans l'huile et conduire aux conclusions utiles pour la construction rationnelle des disjoncteurs. Or, en se servant de différentes caractéristiques ainsi établies (1), il est possible de calculer assez exactement la valeur maximum que peut atteindre le travail de rupture et, par conséquent, les contraintes subies par les interrupteurs.

Remarquons encore que les conclusions tirées par Bauer de ses expériences concernant la formation d'une cheminée gazeuse montrent que pour éviter la production de ce phénomène, il importe d'avoir une hauteur d'huile suffisante au-dessus des contacts. D'autre part, des recherches sur les propriétés de l'arc dans l'huile, il résulte que l'extinction de ce dernier est aléatoire si la course des contacts est trop petite. La cheminée gazeuse peut dans ce cas se produire consécutivement à la chute du piston d'huile ; la poche gazeuse arrive alors à la surface avant que l'arc soit éteint.

III. **Confirmation expérimentale de la théorie du piston d'huile.** — Des recherches nombreuses concernant les interrupteurs ont été faites durant ces dernières années. Dans la plupart des cas, les mesures ne comportent cependant que des prises oscillographiques des courants et des tensions, quelquefois encore celles de la vitesse de rupture et de la pression dans la cuve. A l'exception des « multiphotographies » faites par Lichtenberg (2) il n'existait pas d'étude photographique de la rupture permettant d'établir d'une façon bien claire le processus de la formation et du développement des bulles gazeuses et des mouvements de l'huile. Seule, l'application des appareils cinématographiques, permettant la prise au ralenti avec une fréquence de quelques centaines d'images à la seconde, a rendu possible une étude plus approfondie des phénomènes.

A. **Résumé des expériences de P. Altbürger.** — Dans une thèse de doctorat, P. Altbürger (3) décrit les expériences faites avec un interrupteur en verre de forme rectangulaire et de dimensions réduites (300 mm × 235 mm × 110 mm). L'appareil a été construit en observant les prescriptions du Verband deutscher Elektrotechniker sur la hauteur d'huile et la course des contacts pour les interrupteurs de 6 kv, mais le volume d'huile et celui du matelas d'air ont été réduits au sixième de la valeur normale. De cette façon, on pouvait s'attendre à ce qu'une puissance relativement faible, de l'ordre de 2500 kv-a, à 6 kv, provoque déjà les différents phénomènes qui accompagnent la coupure dans un disjoncteur normal travaillant près de la limite de sa capacité de rupture. Les prises au ralenti ont été faites à raison de 450 images

(1) J. Kopeliowitch ; Neuere Forschungsergebnisse über Vorgänge beim Schalten unter Oel, *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 7 septembre 1928, t. XIX, p. 541-577.

(2) Collis a étudié à l'aide de la photographie l'influence de la forme des contacts sur la distribution de la gaine ionisée. A ma connaissance, il ne faisait qu'une seule prise par essai. (*Proceedings of the american Institute of electrical Engineers*, 1915, t. XXXIV, p. 2081.)

(3) P. Altbürger ; Experimentelle Untersuchung des Abschaltvorganges unter Oel bei 6 kilovolt, *Archiv für Elektrotechnick*, 1928, t. XXI, p. 61.

à la seconde ; un manomètre constitué par une membrane sensible aux à-coups de pression permettait, au moyen d'un système de miroirs, l'enregistrement des pressions sur la pellicule photographique.

Les conclusions tirées des essais exécutés avec double rupture ont été résumées par cet auteur à peu près ainsi : les gaz qui se forment autour des arcs prennent la forme de bulles sphériques qui s'allongent quand la longueur des arcs devient plus grande. Le volume du gaz croît pendant la rupture proportionnellement au carré du temps, tant qu'il n'y a pas d'augmentation de pression permanente. La production du gaz suit les pulsations du travail de rupture : au moment du passage du courant par zéro elle est faible et passe par un maximum un peu après le maximum du courant. Pour le volume moyen des gaz développés par kilowatt-seconde d'énergie dégagée, Altbürger indique le chiffre de 60 cm^3 sous une pression correspondant à la hauteur d'une colonne de mercure de 760 mm et à la température de 150°C ; pendant la rupture, les gaz occupent toutefois un volume 5,5 fois supérieur et leur température moyenne peut atteindre de 1 200 à 3 300°K. L'huile se trouvant au-dessus des contacts est projetée d'un bloc, comme un piston, contre le couvercle, avec une vitesse atteignant 4 m : s et refoule l'air se trouvant entre l'huile et le couvercle au dehors de l'interrupteur. La pression enregistrée présente des oscillations d'une fréquence double de celle du courant. Après l'extinction des arcs les gaz se refroidissent rapidement et ont déjà au bout de 0,15 seconde la température de l'huile.

La vitesse ascensionnelle des bulles varie suivant leur grandeur entre 0,24 et 0,7 m : s, de sorte que, même lors des essais avec le petit interrupteur, les gaz étaient refroidis avant d'atteindre la surface de l'huile.

Comme on le voit, ces conclusions concordent assez bien avec la description du processus de rupture donnée par Brühlmann. Le volume d'huile de l'interrupteur modèle n'étant que de 5,5 dm^3, on atteint à la rupture de 2 500 kv-A un chiffre de 450 kv-A : dm^3, c'est-à-dire une contrainte voisine de celle qu'on admet généralement dans les constructions normales. On peut toutefois faire l'objection que les essais sur des modèles aussi petits ne peuvent donner une image exacte de ce qui se passe dans les interrupteurs de dimensions courantes, atteignant 50 et jusqu'à 100 cm de diamètre. Les différents phénomènes et surtout la formation du piston d'huile pourraient présenter un tout autre caractère. On a fait en particulier remarquer (1) que, si l'on augmente suffisamment le pouvoir de rupture, la couche d'huile constituant le piston pourrait être percée encore avant l'extinction des arcs : la cheminée gazeuse de Bauer déterminerait ainsi la limite du pouvoir de rupture.

B. Recherches entreprises par la Société anonyme Brown Boveri. — Afin de compléter les recherches consacrées à la question des interrupteurs par une étude approfondie faite à l'aide de prises au ralenti, il a été décidé, en 1926, de réaliser un interrupteur à parois transparentes capable de couper une puissance suffisamment importante. Au moyen d'essais appropriés, on devait vérifier la théorie du piston d'huile, de même que les valeurs des différentes constantes qui interviennent dans les formules servant au calcul des disjoncteurs. Pour faciliter les observations et les calculs, ainsi que l'analyse des images prises au ralenti, il fallait trouver un dispositif d'essais tel que les phénomènes apparaissent sous leur forme la plus simple.

1. Dispositif d'essais. — La partie essentielle de l'interrupteur à parois transparentes, construit à cet effet, consistait en un cylindre en verre de 400 mm de diamètre, de 700 mm de hauteur, d'une épaisseur de parois de 7 mm. Cette forme était avantageuse à deux points de vue :

1° Elle permettait à l'appareil de mieux résister aux chocs de pression ;

2° En plaçant une seule rupture suivant l'axe du cylindre on avait l'avantage d'une disposition parfaitement symétrique. Il a fallu cependant disposer ce cylindre dans un récipient rectangulaire également en verre, rempli d'huile, pour corriger la réfraction des rayons lumineux produite par la lentille convergente formée par l'huile du cylindre (fig. 1). Les dimensions du récipient extérieur (600 mm × 600 mm × 770 mm) étaient telles que, celui-ci rempli d'huile ordinaire, on pouvait à peine distinguer les contacts. Lors des prises au ralenti effectuées avec un appareil commandé à la main à raison de 250 à 300 images par seconde il a fallu par conséquent employer de l'huile spéciale tout à fait transparente. L'analyse de cette huile (marque « Gloria », Shell) a donné les chiffres suivants :

Rigidité diélectrique.....	120 kv : cm	(80 kv : cm)
Poids spécifique.....	0,863	(0,880)
Viscosité à 20°C.....	4,3° Engler	(5,01°)
à 50	1,8 id	(1,91)
à 80	1,4 id	(1,40)
Température d'inflammation à l'air libre.....	152°C	(151°C)
Point de congélation.....	−13°C	(−45°C)
Indice d'acidité.....	0,12	(0,07)
Dépôt.....	0	(0)

Entre parenthèses sont indiqués les chiffres correspondants de l'huile employée habituellement dans les interrupteurs. La mesure de la rigidité diélectrique a été faite en utilisant un éclateur à sphères de 12,5 mm de diamètre.

Le contact supérieur (fig. 1), se trouvant à une profondeur de 200 mm sous l'huile, a été fixé sur un isolateur de traversée placé au centre du couvercle ; avec ce dernier on fermait hermétiquement le cylindre en verre. Le contact inférieur a été vissé à l'extrémité d'une longue tige traversant le fond de l'inter-

(1) Benischke; Oelschalterfragen nach 30-Jähriger Entwicklung. *Electrotechnik und Maschinenbau*, 1928, t. XLVI, p. 1217.

rupteur et pouvant se mouvoir suivant l'axe du cylindre. Pour l'enclenchement des contacts on relevait à la main, au moyen d'un levier, tout l'équipage mobile. Le ressort de déclenchement étant comprimé,

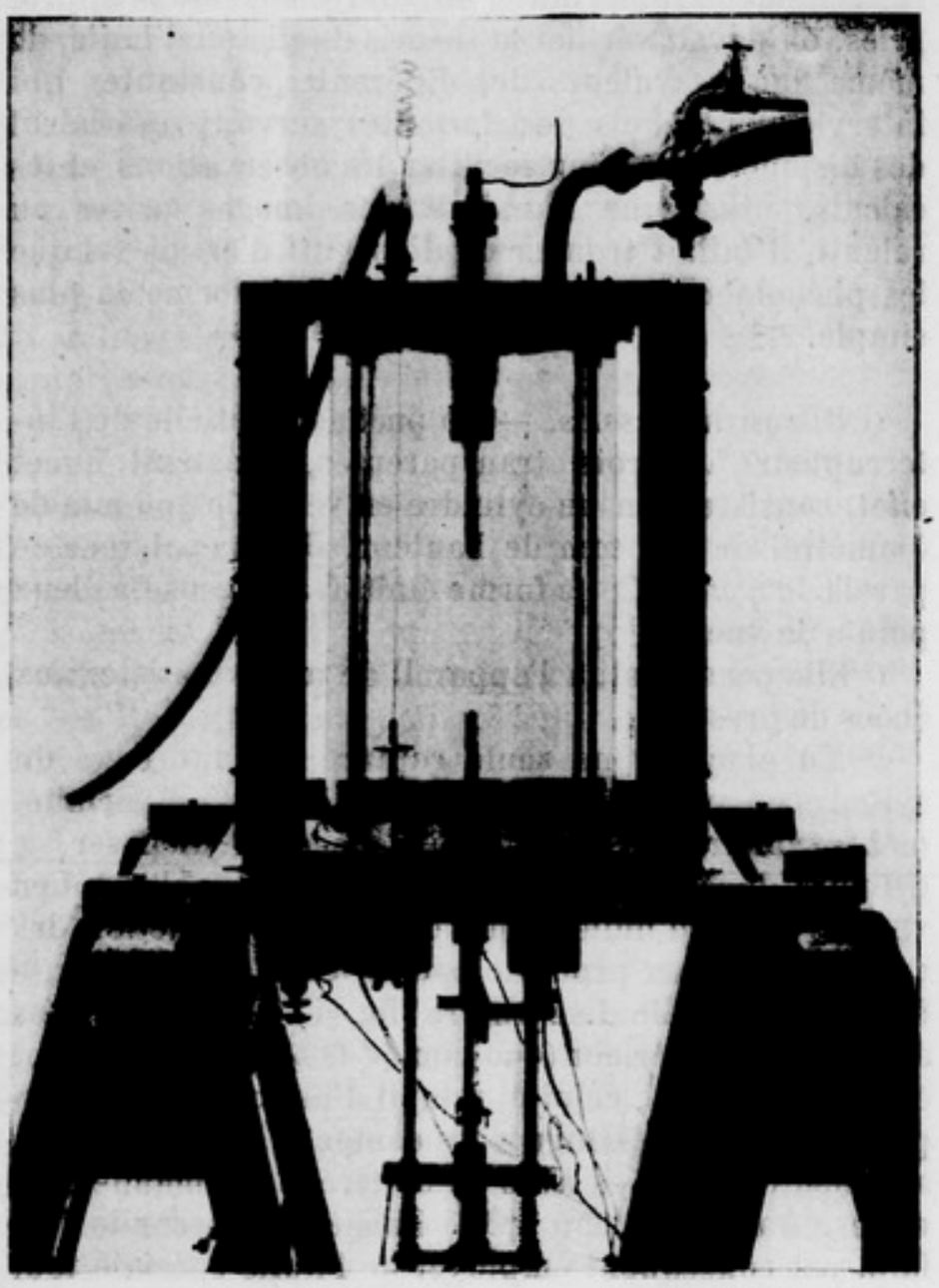


Fig. 1. — Interrupteur en verre pour prises cinématographiques au ralenti. L'appareil comporte un cylindre en verre placé dans un récipient rectangulaire à parois de verre.

il suffisait d'exciter un électroaimant pour faire déclencher l'interrupteur.

A chaque essai on enregistrait le mouvement de déclenchement à l'aide d'un contact glissant, solidaire de l'équipage de l'interrupteur. A la rupture, ce contact fermait et ouvrait successivement le circuit d'une boucle d'oscillographe. On enregistrait ainsi une ligne brisée composée de segments de droites, dont chacun correspondait à 1 cm de chemin parcouru. Sur le même oscillogramme étaient également enregistrés le courant et la tension de l'arc, de sorte qu'il était facile de déterminer la vitesse et la position du contact à un moment quelconque de la rupture. D'autre part, au moyen d'un indicateur en forme de croix, placé à l'extérieur de la cuve et entrainé avec le contact mobile, on pouvait reconnaitre sur le film la position du contact mobile et déterminer par là sur l'oscillogramme l'instant auquel se rapporte l'image considérée.

Pour la mesure des quantités de gaz développés, le matelas d'air communiquait par un tuyau avec la cloche du gazomètre. Avant l'essai, on faisait monter le liquide par une pompe aspirante jusqu'à une certaine hauteur de la cloche et on fermait le robinet de la pompe. Le volume des gaz dégagés était donné par la différence des niveaux de liquide dans la cloche avant et après l'essai.

L'énergie dissipée dans l'arc était mesurée simultanément au moyen d'un électrodynamomètre balistique inséré dans le circuit comme un wattmètre (1). Cette

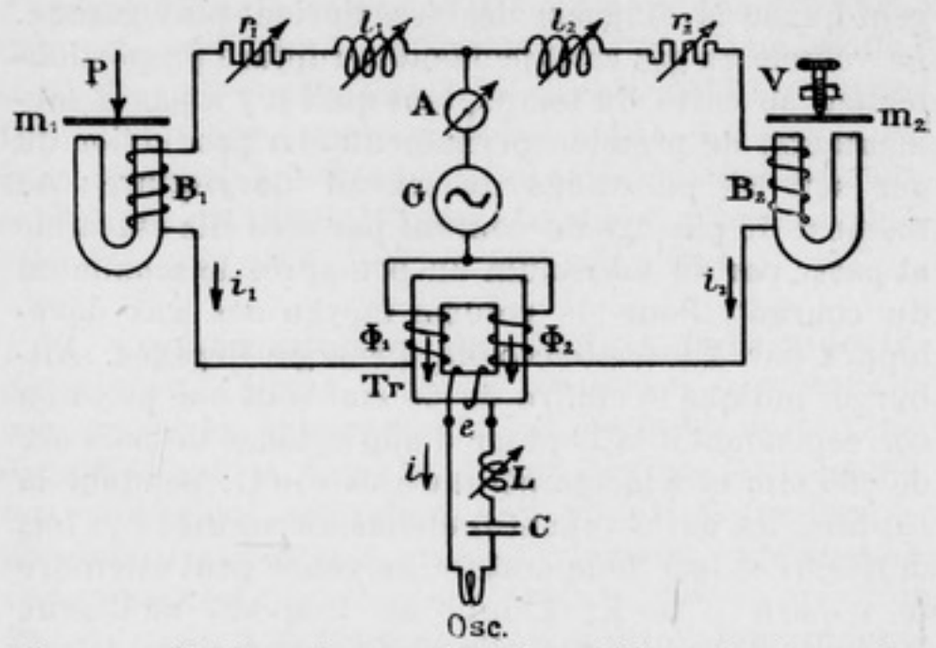


Fig. 2. — Schéma du premier dispositif employé pour les mesures de la pression : G, alternateur à 1 000 p : s ; B_1, B_2, self-inductances à entrefer variable ; m_1 m_2, membranes en acier ; V, vis de réglage ; Tr, transformateur différentiel ; Osc., oscillographe.
La membrane m_1 est exposée à la pression à étudier.

(1) Comme dans le cas du galvanomètre balistique, on peut exprimer l'énergie à mesurer à l'aide de la vitesse angulaire initiale ω_0 acquise par l'équipage de l'appareil à la fin de l'application du courant ($t = t_0$)

$$\omega_0 = \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)_{t=t_0} = \int_0^{t_0} \frac{d^2\alpha}{dt^2}\,dt = \int_0^{t_0} \frac{D_1}{\theta_1}\,dt,$$

α étant la déviation de l'instrument, $D_1 = C_1 i_1$; le couple exercé sur l'équipage pendant le temps t_0 ; θ_1, le moment d'inertie de l'équipage ; i_1, le courant dans le circuit de l'équipage ; C_1, une constante. Le flux Φ traversant l'équipage dans le cas du galvanomètre est excité par un électroaimant ; le mouvement pendant t_0 étant faible, on peut admettre la constance du flux Φ. Dans un dynamomètre, par contre, on a $\Phi = c_2 i_2$, i_2 étant le courant dans la bobine fixe. On obtient ainsi

$$\omega_0 = \frac{C_1 C_2}{\theta_1} \int_0^{t_0} i_1 i_2 dt = C_3 \int_0^{t_0} e i_2 dt = C_3 A,$$

où

$$C_3 = \frac{C_1 C_2}{\theta_1 Z_1},$$

Z_1 étant l'impédance du circuit de l'équipage et e, la tension appliquée à ce circuit. L'amplitude de la première déviation α_1 lue sur l'instrument étant pratiquement proportionnelle à ω_0, on en déduit l'énergie

$$A = K \int_0^{t_0} e i_2 dt,$$

c'est-à-dire le travail de rupture si i_2 et e sont respectivement proportionnels au courant de rupture et à la tension de l'arc.

énergie a été également déterminée par l'intégration de l'oscillogramme correspondant de la tension et du courant dans l'arc.

Un manomètre permettait d'enregistrer d'une façon suffisamment précise l'allure et la valeur de la pression pendant et après la rupture. En disposant le manomètre au fond de l'interrupteur, c'est-à-dire dans la partie où le mouvement d'huile est le plus faible, on pouvait éviter l'influence des tourbillons et autres perturbations sur la mesure de la pression statique. Avec

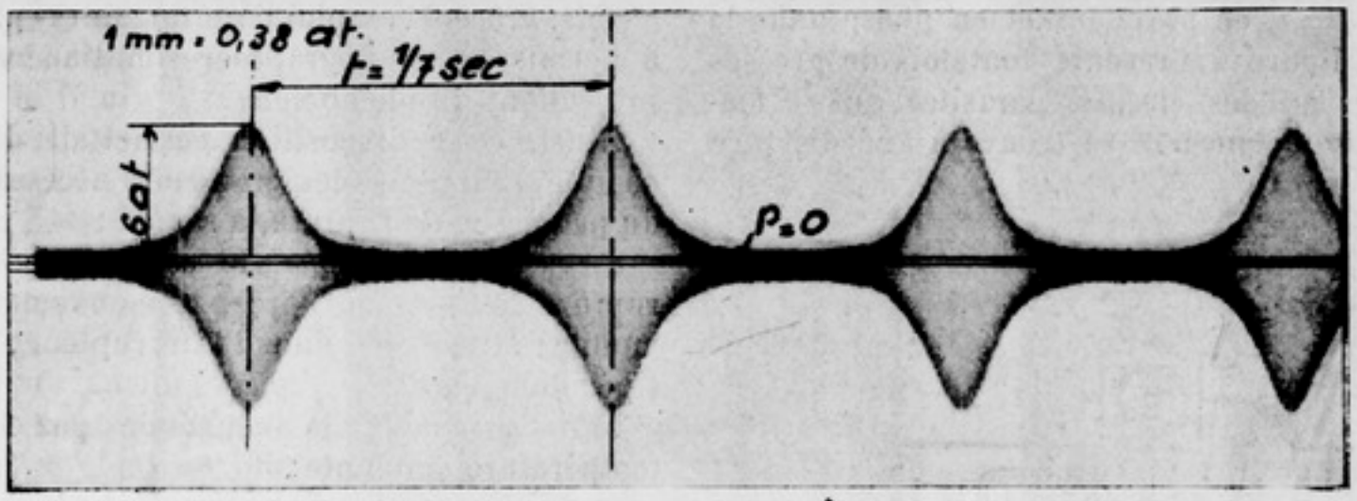


Fig. 3. — Etalonnage dynamique du manomètre électromagnétique. Pression dans le cylindre d'un compresseur à 420 t: mn-

cette disposition, on enregistrait en même temps les pressions résultant de l'accélération de la masse d'huile déplacée.

Le schéma du dispositif pour la mesure de la pression, utilisé au début, est reproduit sur la figure 2 (1). Les deux self-inductances identiques B_1 et B_2 sont branchées en parallèle aux bornes de l'alternateur G à 1000 p:s. Par un réglage convenable de la distance

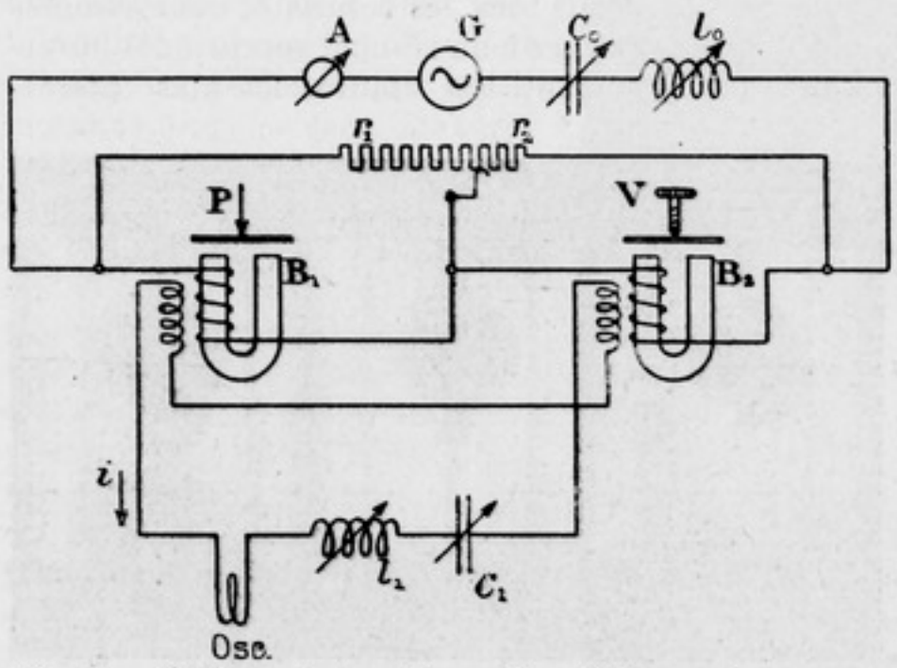


Fig. 4. — Schéma du deuxième dispositif pour les mesures de la pression. Les self-inductances B_1 et B sont branchées en série et munies d'enroulements secondaires.

entre la membrane m_2 et le noyau de la self-inductance B_2 au moyen d'une vis V et en ajustant les circuits à l'aide des résistances r_1, r_2 et self-inductances l_1, l_2, on doit arriver à l'égalité $i_1 = i_2$, c'est-à-dire $\Phi_1 = \Phi_2$, de sorte que la tension aux bornes de l'oscillo-

(1) A.-V. Mershon; Vibration recorder. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, septembre 1926, t. XLV, p. 820-823.

graphe est nulle tant que la pression P à laquelle est exposée la membrane m_1 reste invariable. Toute variation de P est accompagnée d'un changement de l'en-

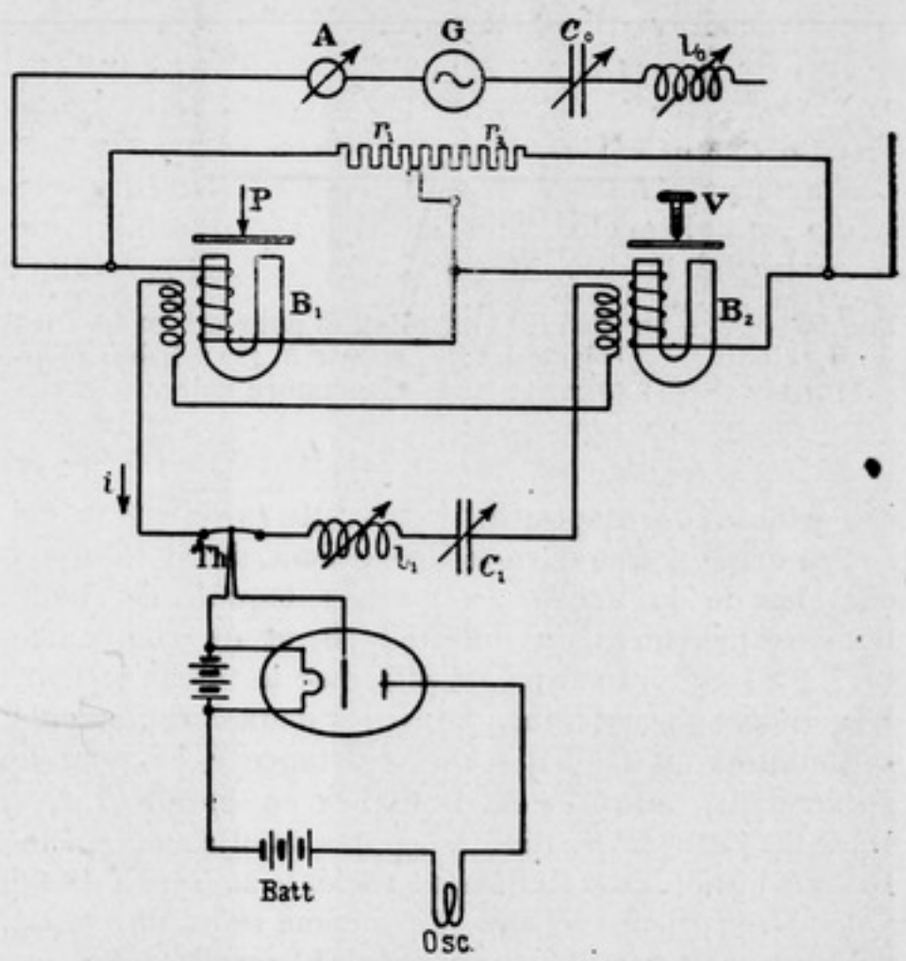


Fig. 5. — Schéma du dispositif pour la mesure de la pression. Seule la courbe enveloppe de la sinusoïde à 1000 p:s peut être enregistrée à l'aide du thermocouple Th et d'un triode.

trefer de l'inductance B_1 et par conséquent du courant i_1. On obtient ainsi

$$e = k(\Phi_1 - \Phi_2) = k_1(i_1 - i_2) = k_1 i_1 - C,$$

où C, égal à $k_1 i_2$, est supposé constant.

Ainsi les déviations de l'oscillographe sont proportionnelles au courant i_1, dont l'intensité peut être rendue à son tour proportionnelle à la pression P. L'enveloppe des sinusoïdes à 1 000 p:s enregistrées présente des oscillations correspondant aux pulsations de la pression P (fig. 3).

Le réglage $i_1 = i_2$ en grandeur et en phase dans le schéma de la figure 2 présente toutefois de grosses difficultés à cause des circuits parasites qui se forment quand l'inductance B_1 se trouve à une distance

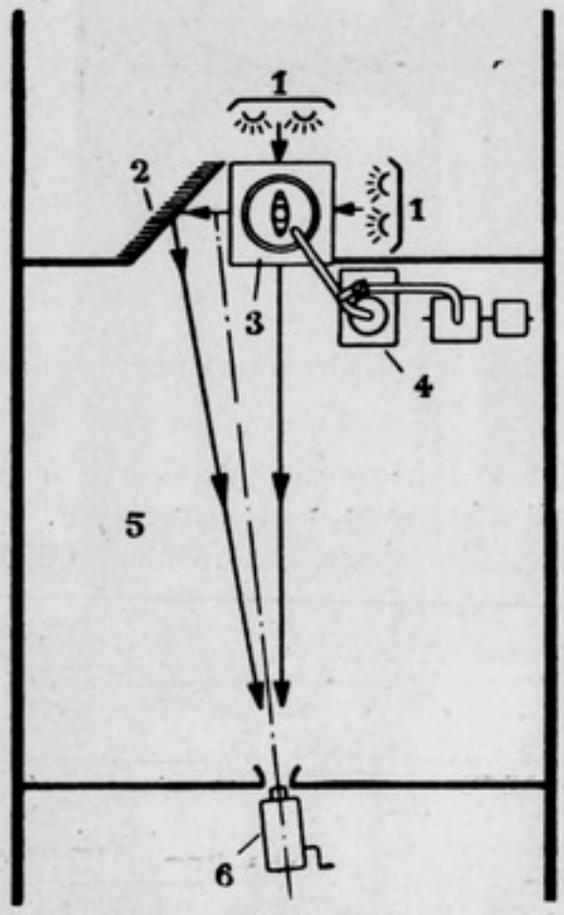


Fig. 6. — Vue en plan de l'installation pour prises de vues au ralenti : 1, projecteurs; 2, miroir à 45°; 3, interrupteur en verre; 4, gazomètre; 5, chambre noire; 6, appareil de prise de vues.

importante du dispositif. Pour cette raison, il a été nécessaire de transformer le schéma de la figure 2 en celui de la figure 4 (1), dans lequel les deux bobines primaires du détecteur B_1 et du compensateur B_2 sont branchées en série sur le même circuit. L'oscillographe est alimenté par les deux enroulements secondaires de B_1 et B_2; une résistance r_1, r_2 pour le réglage du courant i est branchée en parallèle avec B_1 et B_2. Cette disposition est moins sujette aux perturbations et l'on peut facilement régler le courant i à une valeur très proche de zéro. Le schéma reproduit sur la figure 5 utilise un thermocouple Th permettant d'enregistrer au moyen d'un amplificateur la courbe enveloppe de la sinusoïde à 1 000 p:s. Remarquons encore que la déviation de l'appareil est proportionnelle à la pression appliquée à la membrane P. La fréquence propre de cette dernière est, d'ailleurs toujours suffisamment élevée pour ne pas influencer l'exactitude de la mesure des à-coups de pression.

La figure 6 montre la disposition utilisée lors des prises cinématographiques au ralenti : dans une chambre noire (5) de 3 m × 3 m, une des parois a été munie d'un orifice recevant l'objectif de l'appareil pour les prises au ralenti (6); l'interrupteur en verre (3) a été encastré au milieu de la paroi opposée. L'interprétation des images a été rendue plus facile et les calculs, plus exacts, grâce à l'emploi d'un miroir (2) placé à 45°, qui a permis de photographier simultanément les deux projections du phénomène.

Ainsi, cette disposition permettait d'enregistrer à chaque essai toutes les grandeurs nécessaires à l'étude du processus de rupture, à savoir :

a) *A l'oscillographe*, le courant et la tension de rupture (tension de l'arc); le mouvement du contact mobile; la pression dans l'interrupteur; l'énergie dissipée dans l'arc;

b) *Au gazomètre*, le volume des gaz engendrés à la température ambiante;

c) *Au moyen des prises au ralenti*, le développement de la bulle gazeuse et son mouvement; le mouvement du niveau et le caractère hydrodynamique du déplacement de la masse d'huile soulevée; le volume des gaz produits à chaud et, enfin, la position du contact mobile;

d) *Avec l'électrodynamomètre*, l'énergie dissipée dans l'arc.

2. Quelques résultats des essais effectués. — Plusieurs séries d'essais ont été exécutées en variant la tension et le courant de rupture. Il est impossible de donner ici en détails tous les résultats; nous sommes obligés de nous borner à un résumé succinct des observations en indiquant les chiffres les plus intéressants. La description de différents phénomènes qu'on observe en faisant passer le film de prises cinématographiques au ralenti complétera cet exposé.

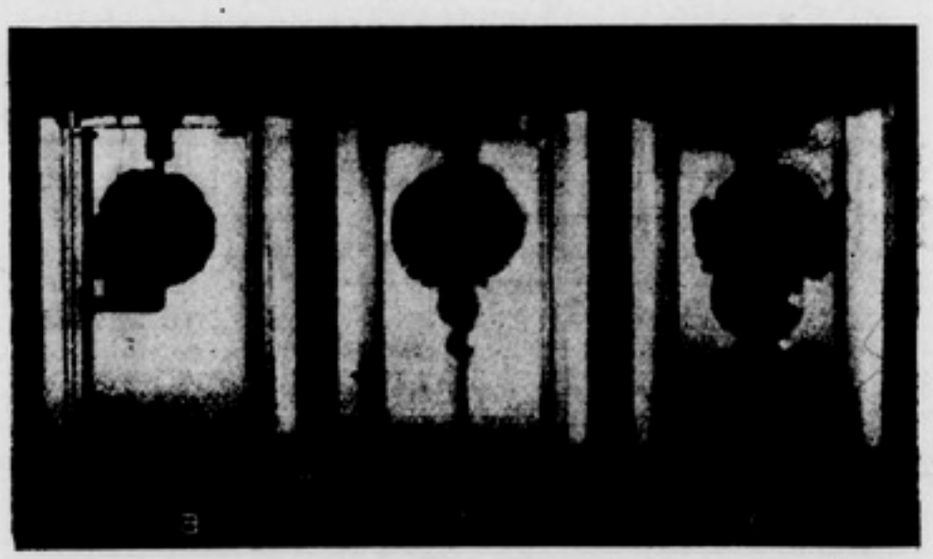


Fig. 7. — Différentes formes observées de la bulle gazeuse.

En utilisant la rupture simple, la formation et le développement rapide de la bulle gazeuse entourant l'arc, ainsi que le mouvement du piston d'huile ont été nettement visibles déjà à la coupure d'une puissance de court-circuit ne dépassant pas 8 000 à 12 000 kv-a. Remarquons, à ce propos, que par son volume (environ

(1) Ce schéma déposé a été développé par M. H. Thommen, ingénieur.

90 dm³), le disjoncteur en verre correspondrait à un appareil de construction moderne pour un pouvoir de rupture de 60 000 à 100 000 kv-a. Les figures 7 a, b, c, reproduisent trois formes observées des bulles, à la rupture de puissances de 8000, 10000 et 16000 kv-a et la figure 8 représente quelques vues relatives à la rupture de 10000 kv-a. Comme on le voit, les gaz développés constituent autour de l'arc une grande poche de forme sphérique ou allongée.

Certaines prises, surtout celles faites lors de la rupture de puissances élevées, révèlent un phénomène intéressant : dès que la longueur d'arc dépasse une certaine valeur, il se développe généralement au-dessous de la première bulle sphérique une seconde bulle de plus petites dimensions et souvent même une troisième, qui, parfois, en se réunissant, ne forment qu'un appendice de la grande bulle. L'étude simultanée des prises au ralenti et des oscillogrammes montre que, dans ce cas, le contact mobile quitte la première bulle avant l'extinction de l'arc. L'arc continue alors à brûler dans une sorte de cheminée gazeuse, dont la formation ne peut être relevée sur les images qu'après l'extinction de l'arc. Voici comment on peut expliquer ce phénomène : avec la séparation des contacts et l'amorçage de l'arc les gaz se développent en formant tout d'abord une sphère. Si l'on porte (fig. 9) sur un graphique le rayon de la bulle, déterminé par l'analyse du film cinématographique (courbe n° 2) et la longueur d'arc (courbe n° 1) en fonction de temps, on constate que la courbe représentant la longueur d'arc est concave vers le haut (mouvement accéléré du contact mobile); il en est de même pour le volume des gaz développés et le travail de rupture. L'augmentation du rayon de la sphère gazeuse, rapide au début, devient de plus en plus lente vers la fin de la rupture : cependant, avant l'extinction de

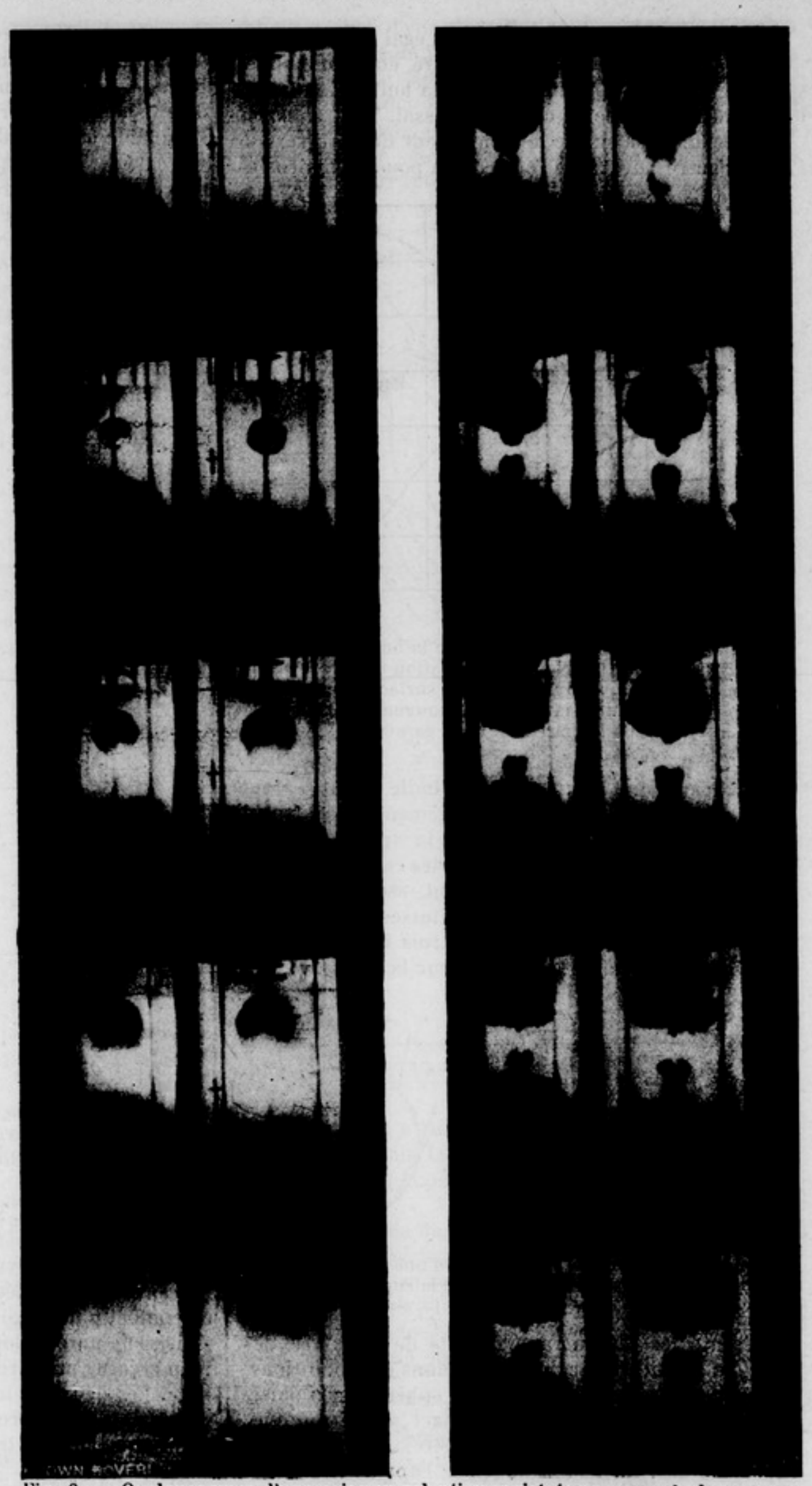


Fig. 8. — Quelques vues d'une prise au ralenti enregistrée au cours de la coupure d'une puissance de 10 000 kv-a entre deux contacts. La formation du piston d'huile est nettement visible. I désigne le niveau de l'huile avant l'essai.

l'arc, le rayon de la sphère est déjà égal à la longueur d'arc. Si donc le centre de la sphère était immobile, l'arc devrait à cet instant sortir de la bulle. En réalité, la bulle se déplace au cours de l'essai. Tout d'abord, elle a tendance à suivre le mouvement de l'arc vers le bas; d'autre part, sous l'effet de la poussée hydrostatique et parce que le mouvement d'huile se fait surtout vers le haut, elle exécute un mouvement ascensionnel très lent. La surface inférieure de la sphère descend d'abord légèrement (courbe n° 3, portée en sens inverse), pour suivre ensuite le mouvement ascensionnel de l'ensemble. La distribution des vitesses en différents points de la surface de la bulle à trois instants consécutifs de son évolution est visible sur la figure 10, qui

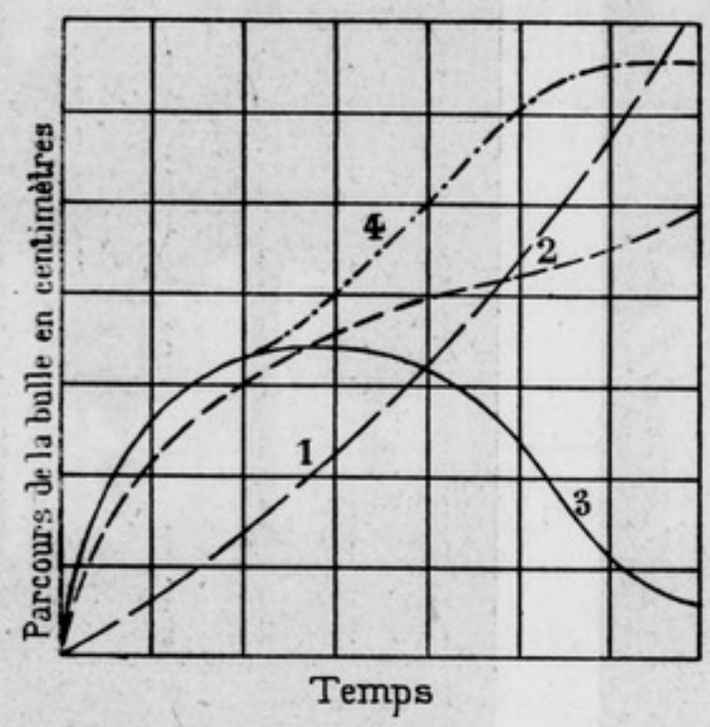


Fig. 9. — Courbe des mouvements de la bulle : 1, mouvement du contact inférieur; 2, variation du rayon de la bulle gazeuse; 3, mouvement de la surface inférieure de de la première bulle gazeuse; 4, mouvement de la surface inférieure de la deuxième bulle gazeuse.

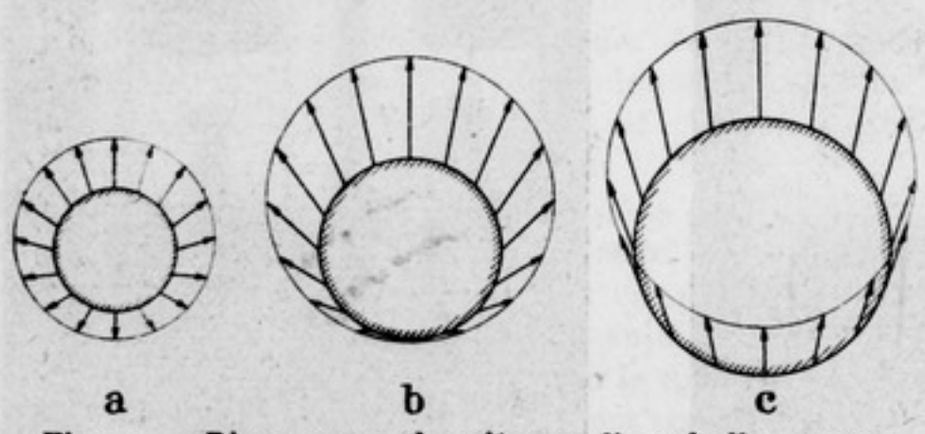


Fig. 10. — Diagrammes des vitesses d'une bulle gazeuse à trois instants différents de la rupture.

représente les diagrammes déduits de l'analyse des vues au ralenti. L'arc doit donc, dans ces conditions, s'échapper assez rapidement de la sphère par la partie inférieure. Dès qu'il entre en contact plus étroit avec l'huile se trouvant sous cette dernière, il y a formation rapide de gaz, se manifestant par l'apparition d'une seconde bulle ou d'un appendice dont le volume dépend de la quantité d'énergie dégagée pendant cette seconde phase du processus. La courbe n° 4 représente la position de la surface intérieure de cette seconde bulle. La figure 7 c montre, par exemple, que l'ensemble de trois sphères représente une bulle de forme allongée semblable à celle admise par P. Charpentier (1) dans ses calculs. Remarquons encore que l'extinction définitive se produit fréquemment avant que le contact mobile ait quitté la première bulle gazeuse; dans ces cas, celle-ci garde évidemment sa forme sphérique.

On sait que les oscillogrammes de coupures dans l'huile montrent souvent de brusques et irrégulières variations de la tension de l'arc. Les prises au ralenti faites simultanément dans deux plans ont permis d'établir l'origine de ce phénomène. La chute de tension dans l'arc varie suivant sa position dans la poche gazeuse et présente des valeurs plus faibles quand la gaine ionisée se place à l'intérieur de la sphère, où elle

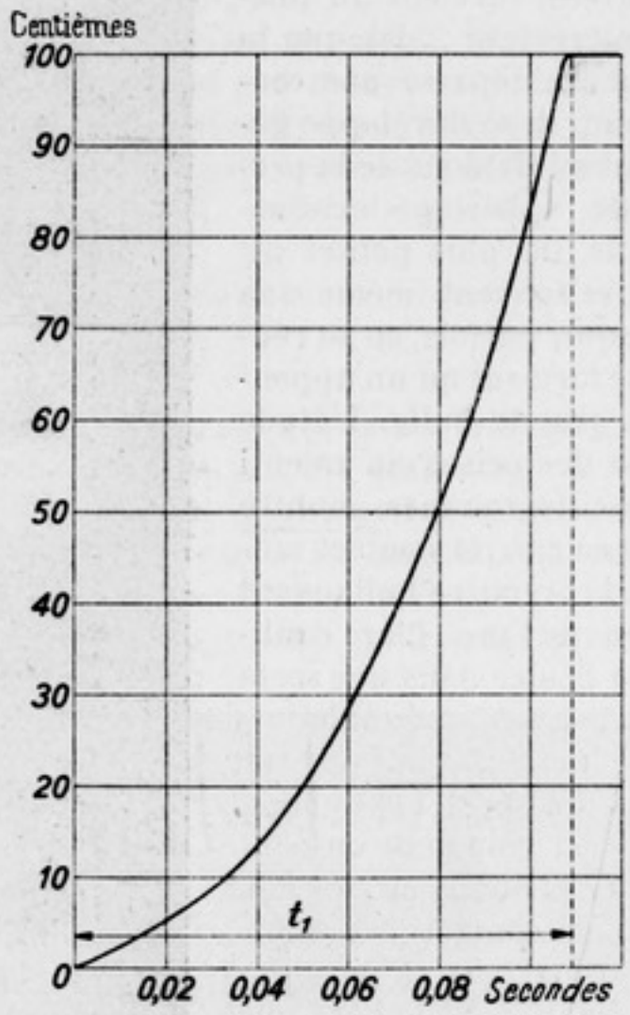


Fig. 11. — Courbe de déplacement du niveau d'huile dans l'interrupteur en verre, au cours de la rupture d'une puissance de 16 000 kv-a.

est moins refroidie. Sous l'influence des tourbillons et du mouvement de l'huile, de même que sous l'action des forces électrodynamiques, l'arc ne conserve pas une forme déterminée et peut entrer de temps en temps en contact plus étroit avec l'huile entourant la bulle. Ainsi, sur un oscillogramme, on a constaté, après un réamorçage, une brusque diminution de la tension de l'arc. Les deux photographies correspondantes, antérieure et postérieure à cet instant, montrent, la première, que l'arc se trouvait en contact avec la surface

(1) P. Charpentier; Dimensionnement, construction et détermination des disjoncteurs à huile. *Revue générale de l'Electricité*, 3 mai 1923, t. xxii, p. 738-745.

de la sphère située en face de l'appareil de prise de vues (l'image directe est surexposée, dans l'image réfléchie par le miroir la bulle est noire); la seconde, que la gaine ionisée s'est déplacée après réamorçage à l'intérieur de la bulle (celle-ci apparaît dans les deux photographies comme une tache noire), d'où diminution de la tension de l'arc.

L'étude du mouvement de l'huile, provoqué par la rupture, a été faite en analysant à la loupe les agrandissements des vues prises au ralenti (1). Comme il a été déjà mentionné plus haut, l'huile se trouvant au-dessus de la bulle gazeuse est soulevée d'un bloc au moment de la rupture et projetée vers le couvercle. Au début du mouvement, la surface de l'huile est parfaitement plane dans les deux projections, et c'est seulement vers la fin de la rupture qu'elle se bombe légèrement vers le haut. La vitesse du piston d'huile est faible au commencement; mais après les deux ou trois premières demi-ondes de courant, la masse est accélérée; la variation de la vitesse suit la même loi que celle de la variation du travail de rupture (fig. 11), c'est-à-dire qu'elle atteint son maximum vers la fin de la rupture (2). Lors de l'essai exécuté avec une puissance de 16 000 kv-a, la vitesse du piston d'huile n'a pas dépassé 1,8 m : s, ce qui s'explique par la section relativement élevée du disjoncteur et par la quantité des gaz développés, faible par rapport au volume du disjoncteur. D'ailleurs, c'est pour ces raisons qu'il a été possible de limiter la pression dans l'interrupteur à la valeur compatible avec la solidité du cylindre en verre.

On se rend compte de la répartition des mouvements de l'huile à l'intérieur du disjoncteur en traçant les filets fluides qui partent de la bulle gazeuse et aboutissent à la surface de l'huile. La disposition symétrique facilite sensiblement le problème, les filets fluides pouvant être tracés sous forme de corps de révolution dont l'axe coïncide avec celui du cylindre (3). Etant donné le mouvement ascensionnel de la bulle, la surface de cette dernière ne peut pas être considérée comme surface de niveau, donc elle ne sera pas orthogonale avec les surfaces limitant les filets; par contre, on peut admettre que les filets sont orthogonaux avec la surface du niveau d'huile. La figure 12 représente par exemple le résultat des analyses des vues au ralenti :

(1) Ce travail, ainsi que d'autres analyses encore, ont été exécutés avec un grand dévouement par MM. R. Parel, ingénieur et W. Wanger, docteur-ingénieur.

(2) Dans le cas du mouvement accéléré des contacts, le travail de rupture en fonction du temps est donné approximativement par la formule

$$A = \frac{\sqrt{2}\, I e_0}{\omega} \left\{ a T^2 \left[\frac{(2n^2+1)\, n}{3} - \frac{4n}{\pi^2} \right] + v n^2 T \right\};$$

voir *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 1928, p. 556,

(3) Les tubes de force d'un champ électrostatique tracés d'après la méthode de K. Kuhlmann (*Archiv für Elektrotechnik*, 1915, t. III, p. 203) ont pour surfaces limites des surfaces de révolution concentriques.

on s'est servi de la distribution des vitesses instantanées, déduites de l'étude des mouvements, de la bulle gazeuse et du niveau d'huile, pour faire un tracé approximatif des filets fluides. Cette figure correspond à la période pendant laquelle la partie inférieure de la bulle gazeuse effectue encore le mouvement vers le fond de l'interrupteur. Ce mouvement descendant évo-

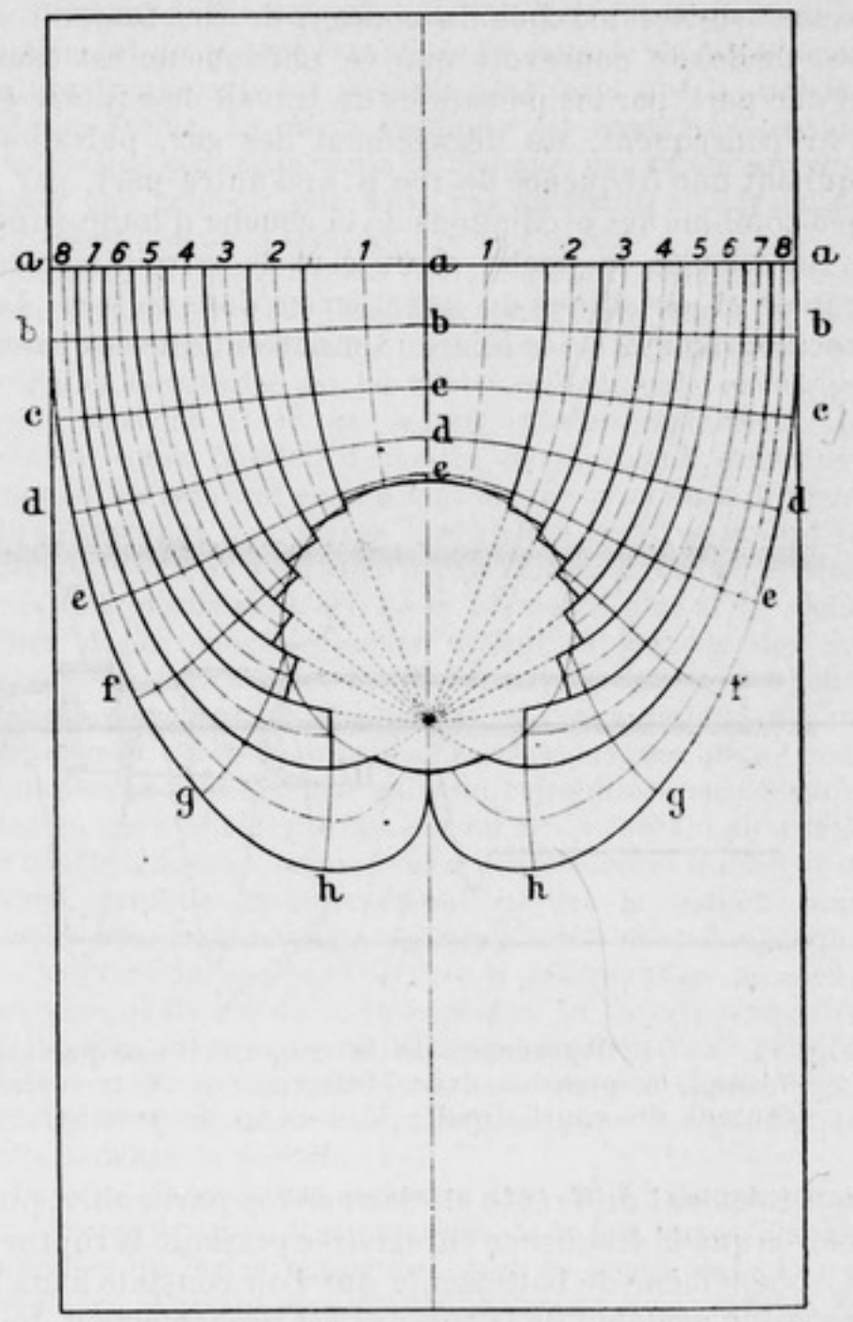


Fig. 12. — Diagramme de la répartition des filets fluides.

lue, comme il a été dit plus haut, en un mouvement ascendant, mais la distribution de filets fluides garde dans sa partie supérieure à peu près le même caractère.

Il est possible de déterminer approximativement la pression à l'intérieur de la bulle, due à l'accélération du piston d'huile en se basant sur l'étude graphique de la distribution des vitesses. Connaissant la masse et la variation avec le temps de la vitesse de l'huile en différents points, on peut effectuer graphiquement l'intégration des produits $\Delta m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ le long des filets fluides. L'application de cette méthode a donné pour la pression des valeurs concordant avec les indications du manomètre.

Il est intéressant de mentionner à ce propos que la

pression dans le disjoncteur croît graduellement pendant toute la durée de la rupture et atteint son maximum généralement au moment de l'extinction des arcs. L'à-coup de pression du début, qui théoriquement peut atteindre des valeurs considérables, n'a pu être décelé malgré la sensibilité du manomètre utilisé. L'allure des pressions enregistrées présente souvent des pulsations dont les maxima sont légèrement en retard sur les maxima du courant de court-circuit. Il est facile de concevoir que ce phénomène est causé d'une part, par les pulsations du travail de rupture et, par conséquent, du dégagement des gaz, pulsations qui ont une fréquence de 100 p:s; d'autre part, par le jeu combiné des oscillations de la couche d'huile située au-dessus de la poche gazeuse et le refroidissement rapide et périodique du gaz enfermé dans celle-ci. Les oscillogrammes de la figure 13 montrent que ces pulsations de pression sont plus prononcées au commencement même de la rupture, c'est-à-dire tant que le volume de la bulle gazeuse est relativement réduit. Ce fait s'explique par un écoulement plus rapide de la chaleur emmagasinée dans la bulle lorsque celle-ci est petite. A mesure que le volume de la bulle augmente, les conditions du refroidissement des gaz deviennent moins favorables et les variations de leur température, moins accentuées.

Tant que l'air situé au-dessus de l'huile n'est pas totalement expulsé de l'interrupteur, le piston d'huile est comme comprimé entre deux coussins élastiques; le système ainsi formé possède une fréquence propre d'oscillation qui augmente théoriquement à mesure que la bulle gazeuse s'approche de la surface de l'huile. La figure 13 montre, par exemple, qu'après l'extinction de l'arc, la fréquence des pulsations de pression est

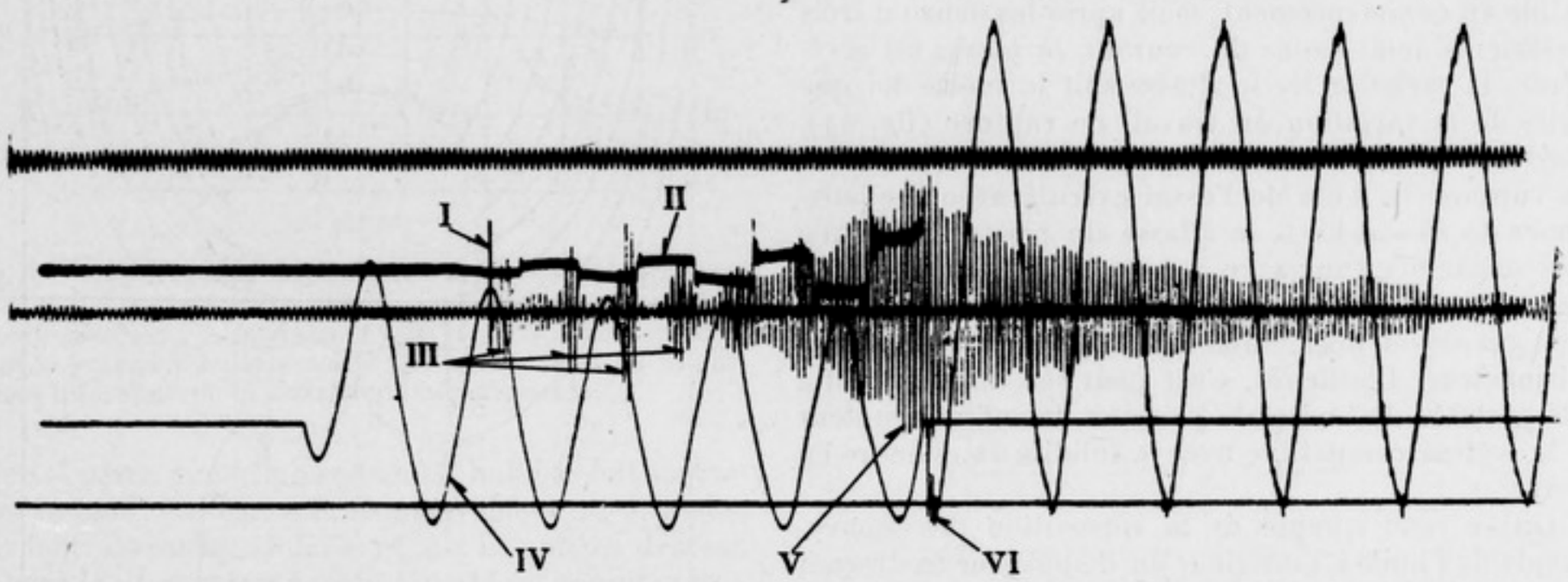


Fig. 13. — Oscillogrammes de la coupure d'une puissance de 22 000 kv-a. Les gaz engendrés par l'arc produisent des à-coups de pression dans l'interrupteur : I, ouverture des contacts; II, tension d'arc; III, à-coups de pression; IV, courant du court-circuit; V, à-coup de pression maximum; VI, tension rétablie.

sensiblement différente et, dans ce cas particulier, plus élevée que la fréquence enregistrée pendant la rupture. Le phénomène de battements que l'on constate dans la pression au début de la rupture est probablement dû à la superposition des pulsations du travail de rupture avec les oscillations propres de la masse du piston d'huile.

(*A suivre*).

J. Kopeliowitch,
Ingénieur à la Société Brown Boveri et Cie

Revues, analyses et informations

Interrupteurs sans huile pour de très grandes puissances (1).

1. Généralités. — On dispose aujourd'hui d'interrupteurs dans l'huile capables de couper des courants de court-circuit intenses, correspondant à une puissance maximum de l'ordre de 1,5 million de kilovolts-ampères. Ces appareils présentent néanmoins un sérieux danger, car, bien qu'ils soient construits soigneusement, avec d'excellents matériaux, et constamment surveillés, un organe devenu défectueux pour une raison quelconque peut causer une défaillance de fonctionnement au moment même de la coupure d'un court-circuit. Un arc permanent s'amorce alors dans l'interrupteur où il transforme en chaleur une énergie considérable qui vaporise et décompose l'huile, engendrant ainsi rapidement une forte pression contre laquelle les orifices d'échappement ne constituent plus une protection suffisante. La cuve cède sous cette pression; l'arc enflamme les gaz de décomposition qui, mélangés à l'air, peuvent exploser et causer des détériorations importantes. Pour éviter de tels risques il fallait donc renoncer à l'huile et trouver d'autres moyens pour éteindre rapidement l'arc de rupture. Des recherches ont été entreprises et l'Allgemeine Elektri-

(1) J. Biermanns. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 25 juillet, 1er août, 28 novembre 1929, t.l. p. 1073-1079, 1114-1119, et 1746-1748, 7 000 mots, 40 figures, 3 tableaux.

citäts-Gesellschaft a réussi à réaliser pour de très grandes puissances un type d'interrupteur à air comprimé, basé sur un principe indiqué par le professeur Ruppel. Avant de passer à la description de cet appareil, il convient d'examiner comment se produit la rupture entre les contacts d'un interrupteur.

Lorsqu'il s'agit de courant alternatif la résistance de l'arc qui s'amorce entre les contacts, à leur séparation, ne joue qu'un rôle secondaire. La rupture s'effectue à l'un des passages du courant par zéro. La tension de l'arc est donc généralement faible par rapport à la force électromotrice agissant dans le circuit, de sorte que le courant ne subit qu'une influence négligeable et conserve sa forme sinusoïdale, tandis que la tension entre les contacts semble passer brusquement à la valeur maximum de la force électromotrice du circuit. En réalité, ce retour de tension n'est pas instantané; il prend un temps τ et, après avoir dépassé momentanément sa valeur normale, la tension retrouve son allure stationnaire en effectuant des oscillations amorties à haute fréquence. Cela s'explique par le fait que tout circuit électrique, que ce soit celui d'un générateur, d'un transformateur ou d'une ligne, possède, en plus de sa self-inductance, une certaine capacité et constitue un système oscillant, de fréquence propre, qu'excite la force électromotrice du générateur en réapparaissant brusquement. Ce phénomène est d'importance capitale pour le processus de rupture dans un interrupteur à courant alternatif, car, dans le temps τ durant une grande partie duquel le courant et la tension sont nuls, il s'opère une régénération de la rigidité diélectrique entre les contacts de rupture. Une limite inférieure du temps de retour de la tension en fonction du nombre d'oscillations propres ν du circuit coupé, en deçà de l'interrupteur, est donnée par l'expression

$$\tau = \frac{1}{4\nu} = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$$

qui devient

$$\tau = \frac{\pi}{2}\sqrt{0{,}4\,LC}$$

quand il s'agit d'un circuit avec self-inductance L et capacité C uniformément réparties, ce qui est ordinairement le cas.

Pour l'enroulement statorique d'un turbogénérateur, comme pour un transformateur, le nombre d'oscillations propres reste sensiblement constant entre des limites de puissance très étendues et comme temps de retour de la tension on peut admettre en moyenne 10 microsecondes dans le premier cas et 20 microsecondes dans le deuxième. Les réseaux, avec leur grande capacité, réduisent à quelques centaines de périodes par seconde le nombre d'oscillations propres du circuit, de sorte que τ peut atteindre jusqu'à 1 000 microsecondes. Mais si l'on prévoit des bobines d'inductance pour réduire les courants de court-circuit τ tombe à quelques microsecondes.

Au point de vue physique le processus de la rupture est assez compliqué. L'arc amorcé entre les contacts de l'interrupteur s'éteint à chaque passage du courant par zéro pour se réamorcer peu après quand la tension a repris une valeur déterminée. Il s'éteint définitivement si cette tension ou sa vitesse de retour deviennent insuffisantes pour un nouvel amorçage. Ce cas se produit si la régénération de la rigidité diélectrique entre les contacts de rupture est plus rapide que l'augmentation de la tension. Le temps nécessaire à cette régénération est égal à un temps τ d'au moins 10 microsecondes.

L'arc ne peut exister que si la cathode est portée à une haute température pour émettre des électrons qui traversent avec une grande vitesse la zone gazeuse entre les électrodes en l'ionisant. Par suite de leur masse, les ions n'ont qu'une très faible vitesse; leur rôle principal est de maintenir entre les électrodes une répartition convenable des charges qui provoquent les chutes de tension cathodique et anodique par lesquelles les électrons transportant le courant acquièrent une vitesse suffisante. La chute de tension cathodique est constante et indépendante de l'intensité du courant; elle dépend uniquement de la matière et de la température de la cathode ainsi que de la nature du gaz; elle est d'autant plus forte que la cathode est plus froide. La chute anodique est aussi une tension d'ionisation comme la chute cathodique, mais beaucoup plus faible que celle-ci; elle n'est pas constante et dépend de l'arc ainsi que de la température de l'anode.

Lorsque le courant passe par zéro, l'arc s'éteint; la tension subsiste encore durant un temps inférieur à τ, soit moins de 10 microsecondes, de même que la répartition du potentiel caractérisé par les chutes cathodique et anodique. Les électrodes et le gaz se refroidissent rapidement; la cathode cesse bientôt d'émettre de nouveaux électrons; ceux qui se trouvent encore dans la zone gazeuse se dirigent vers l'anode et il se forme une charge positive devant la cathode, qui tend à refouler la région de la chute de tension vers cette dernière. L'arc ne se réamorce plus si la résistance de la couche gazeuse devant la cathode devient supérieure à la chute de tension maximum en un point quelconque entre les électrodes. Or, cette rigidité diélectrique croît à mesure que disparaissent les ions qui ne peuvent plus se reformer par suite du refroidissement. D'après Slepian qui a fait des essais sur un arc à courant alternatif de courte longueur, amorcé entre des électrodes froides, il se forme presque instantanément devant la cathode une couche dont la tension de rupture atteint 250 v tandis que sur le reste du parcours de l'arc la régénération nécessite quelques centaines de microsecondes. La théorie simplifiée de Slepian s'applique difficilement à l'arc dans l'huile, mais des essais prouvent que, dans ce cas, il faut aussi plusieurs centaines de microsecondes pour la régénération de la distance de rupture.

Dans un interrupteur ordinaire dans l'huile aucune action ne s'exerce sur l'arc de rupture qui, de ce fait, lorsqu'il s'agit de couper de fortes puissances, met un temps assez long à s'éteindre, d'autant plus que les contacts s'éloignent l'un de l'autre à une vitesse relativement faible. Il résulte de là une forte usure des contacts, une détérioration rapide de l'huile et une contrainte inutile sur le mécanisme de déclenchement. Pour obvier à ces inconvénients il faut donc chercher à exercer sur l'arc de rupture une action violente qui puisse l'éteindre rapidement. A cet effet, le professeur Ruppel a proposé de le souffler par un puissant jet d'air comprimé, de manière que la rupture du circuit s'achève à la première occasion favorable, c'est-à-dire quand le courant passe par zéro. A cet instant les électrodes entre lesquelles l'arc s'amorce ne présentent plus qu'un petit point porté au rouge durant un temps τ d'au moins 10 microsecondes, pendant lequel il n'y a pas de courant et la tension est presque nulle. Si, jusqu'au retour de la tension, on réussit à chasser les ions qui se trouvent encore sur le chemin suivi par l'arc et ceux que continuent à émettre les électrodes, l'arc ne se réamorcera pas. Cette idée, déjà ancienne, n'avait pas donné de résultats pratiques parce qu'on ne l'avait pas appliquée judicieusement. Dans l'interrupteur de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellshaft elle est réalisée comme le montre la figure 1.

2. Description et fonctionnement. — Le contact fixe est une tuyère montée sur le cylindre de soufflage, contre laquelle vient s'appliquer le contact mobile qui porte un piston sur lequel agit l'air comprimé; le cylindre de soufflage et celui de déclenchement sont alimentés en air comprimé par la même soupape. Les avantages sont les suivants: l'arc ne subit

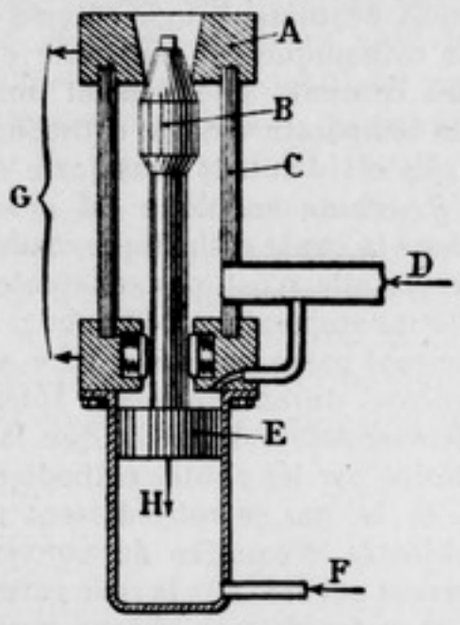


Fig. 1. — Croquis de principe de l'interrupteur à air comprimé: A, contact fixe; B, contact mobile; C, matière isolante; D, amenée de l'air comprimé pour le déclenchement; E, piston du contact mobile; F, amenée de l'air comprimé pour l'enclenchement; G, bornes; H, sens du mouvement de déclenchement.

aucune déviation; l'une de ses extrémités se trouve dans la zone de vitesse maximum du jet d'air; avec une tuyère de forme appropriée, les ions chassés par le jet d'air, surtout ceux provenant de la pointe mobile, ne viennent pas en contact avec l'électrode opposée, le contact mobile est attiré dans une zone de forte pression de l'air, où la rigidité diélectrique, qui croît proportionnellement à cette pression, empêche le réamorçage de l'arc.

L'arc se détache de la pointe du contact mobile quand le courant passe par zéro; il faut donc qu'au retour de la tension, après le temps τ, la distance qui le sépare de cette pointe soit assez grande pour qu'il ne puisse pas se réamorcer. Cette distance dépend de la pression de l'air. Avec une pression de l'ordre de 5 atmosphères à la température normale de 20°C, on obtient une vitesse de l'air de 500 m : s à l'extrémité de la tuyère et de 300 m : s à la pointe mobile. Or, d'après des essais effectués au laboratoire de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellshaft, la vitesse des ions émis par un métal chauffé au rouge sous p atmosphères dans un champ de E, en volts par centimètre, est donnée par l'expression $v = 0{,}023\,\frac{E}{p}$, en mètre par seconde.

Cela prouve qu'avec la pression considérée on parviendra à chasser tous les ions dans la direction du jet d'air et, par là, à éviter le réamorçage de l'arc. La vitesse d'échappement de l'air augmente aussi avec sa température qui suit exactement les variations de puissance de l'arc; mais, pour la rupture, c'est seulement la vitesse correspondant au passage du courant par zéro qui entre en ligne de compte.

On peut se demander dans quelle mesure la pression de l'air influe sur la puissance de rupture de l'interrupteur. Une augmentation de la pression au-dessus de 5 atmosphères n'a pas beaucoup d'effet sur la vitesse; elle se fait par contre sentir sur la rigidité diélectrique de l'air qui croît proportionnellement à la pression. Ces deux facteurs sont toutefois secondaires par rapport à la forte réaction exercée par l'arc dont la température engendre une pression élevée qui communique à l'air une grande vitesse d'échappement dans la tuyère, mais réduit et peut même annuler sa vitesse dans le voisinage de la pointe du contact mobile, gênant ainsi le processus d'extinction. Avec la pression de l'air, la tension et le courant coupés augmentent aussi, mais la loi qui régit la relation entre ces grandeurs n'est pas encore connue.

Le choix du gaz de soufflage ne semble pas avoir une grande importance. Des essais effectués avec de l'air et de l'azote ont donné sensiblement les mêmes résultats.

Ce type d'interrupteur permet de couper en toute sûreté des puissances jusqu'à un million de kilovolts-ampères; la coupure s'effectue brusquement; l'arc refoulé par le jet d'air n'atteint pas une longueur excessive; le bruit qui se produit au déclenchement peut être complètement amorti à l'aide d'un raccord de forme appropriée qui aboutit à une cheminée; l'usure du contact mobile est minime. Le genre de construction de cet interrupteur ressort de la figure 2. Au point de vue de l'installation l'interrupteur à air comprimé

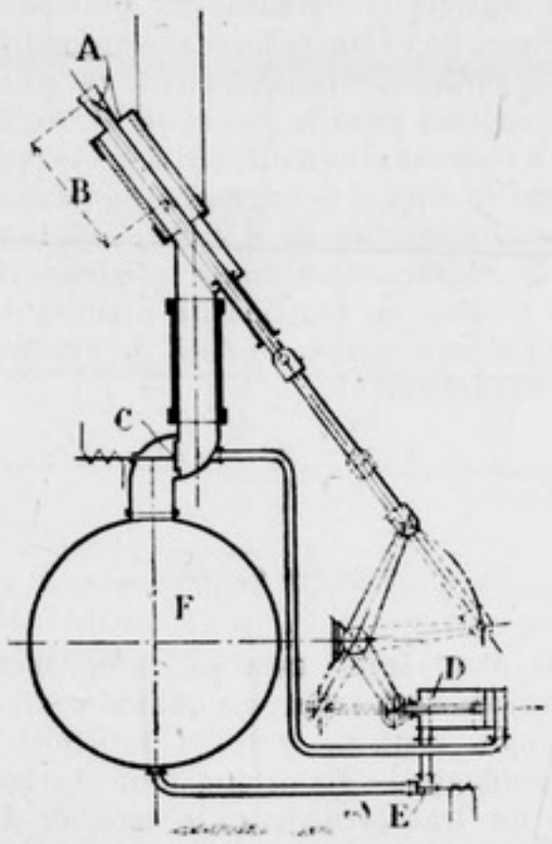


Fig. 2. — Représentation schématique d'un interrupteur tripolaire à air comprimé pour une tension de service de 15 kv. A, contact; B, distance de rupture; C, soupape de déclenchement; D, cylindre de commande; E, soupape d'enclenchement; F, réservoir à air comprimé.

offre aussi de sérieux avantages; toutes ses parties mobiles sont facilement contrôlables et le bâtiment est moins coûteux que pour un interrupteur dans l'huile, ce qui compense largement son prix plus élevé par suite du compresseur qu'on est obligé de prévoir. Le contrôle de l'huile et son remplacement après les courts-circuits sont également supprimés.

3. Discussion. — Dans la discussion, qui eut lieu à une séance de l'Elektrotechnischer Verein, après avoir approuvé les travaux de Biermanns, M. Kesselring signale des recherches équivalentes faites par les Siemens-Schuckertwerke, et décrivit l'appareil essayé qui était à double rupture sans contact glissant. L'air comprimé à 6 atmosphères servait au soufflage de l'arc. Il rappella également les travaux de Slepian aux Etats-Unis qui a construit un inter-

rupteur sans huile basé sur le principe de « désionisation » de la cathode au moment du passage de la tension par zéro. Le soufflage de l'arc se fait par un champ magnétique pendant que l'arc est coupé par de multiples cloisons. Le nombre de cloisons est fonction de la tension de service, il est de 3 à 4 pour 400 volts, 5 à 6 pour 1 000 volts, etc. On est arrivé à couper ainsi 400 000 kv-a quatre fois de suite sans aucun dommage pour l'appareil. M. Kesselring, après avoir rendu hommage aux travaux de Biermanns exprima la conviction que les interrupteurs sans huile sont appelés à un grand avenir. — C. A. et M. C.

Le développement de la mesure électrique à distance (1).

1. Introduction. — Dans une conférence faite à l'Elektrotechnischer Verein de Berlin, le 26 février 1929, qui fut suivie d'une discussion, l'auteur trace un rapide historique de la mesure à distance dans les usines génératrices, puis, après avoir indiqué les conditions qu'elle doit remplir, il décrit sommairement les principales méthodes employées dont les plus importantes sont celles par impulsions, parce qu'elles donnent des résultats qui ne sont pas influencés par l'état des lignes. Son exposé se termine par quelques considérations sur les méthodes d'enregistrement, de sommation et de mesures multiples.

2. Historique. — C'est en 1919 que l'on fit appel aux maisons allemandes pour étudier et construire des dispositifs permettant de surveiller tout le réseau de la Bavière depuis le poste de commandement central à Karlsfeld. Ce fut une vaine tentative car le problème était encore trop compliqué. Entre temps on s'était aussi vivement intéressé à la question aux Etats-Unis. Des procédés de mesure ont été mis au point, qui fonctionnent depuis des années sur quelques centaines de kilomètres. Les installations, d'abord très simples, sont devenues toujours plus compliquées et plus étendues, de sorte que les distances de transmission qui entrent actuellement en ligne de compte, atteignent jusqu'à 500 et même 1000 km.

3. Conditions imposées. — L'idée de mesure à distance implique toujours certaines dispositions autres qu'un simple prolongement de lignes ou qu'une réduction du courant secondaire d'un transformateur de courant de 5 à 1 a. On transmet à distance, en les indiquant seulement ou en les enregistrant, des mesures de courant, de tension, de fréquence, de puissances active, réactive ou apparente, de facteur de puissance, de niveau, de pression ; la somme de plusieurs valeurs momentanées, mesurées en différents endroits ; des mesures multiples effectuées sur une seule ligne pour économiser des canalisations coûteuses, des indications de compteurs ordinaires ou de compteurs à maximum.

Le degré d'exactitude de la mesure dépend du but envisagé. Pour une indication relative à la répartition de la charge on se contente de 3 ou même $\pm$ 5 pour 100; dans l'indication d'une puissance à maintenir entre certaines limites, il faut atteindre au moins 1 pour 100 et l'exactitude doit être encore plus grande quand il s'agit de compteurs.

Comme moyen de transmission on a recours à des lignes spéciales pour de faibles distances. Le plus souvent on utilise des lignes téléphoniques. Des précautions sont à prendre pour éviter les effets d'induction susceptibles d'influencer les mesures et les dangers qui menacent le personnel et les appareils. Depuis quelque temps on emploie aussi la téléphonie à haute fréquence sur lignes. Le coût d'une installation de mesure à distance comprend le prix des appareils et celui de la ligne de transmission qui est de beaucoup le plus élevé quand il s'agit de longues distances.

La résistance des lignes et leur isolement jouent un rôle très important et ont, pour certaines méthodes, une grande influence sur l'exactitude des mesures. La résistance d'un câble téléphonique ordinaire à deux conducteurs est environ de 80 mégohms par kilomètre ; l'isolement minimum garanti, de 500 mégohms par kilomètre. Plus encore qu'à l'isolement du câble même il faut veiller à celui des boîtes à ses extrémités, qui laisse souvent à désirer.

Une méthode de mesure à distance doit, autant que possible, être indépendante de la résistance et de l'isolement de la ligne et ne nécessiter aucune tension auxiliaire, ou du moins être indépendante de la valeur de cette tension ; il ne faut pas non plus qu'elle consiste en une transmission de courant, mais seulement en une transmission d'à-coups de courant (méthode par impulsions) ; elle doit en outre n'exiger que des dispositifs simples, susceptibles d'être utilisés pour la sommation de plusieurs grandeurs. Aucune des méthodes connues ne satisfait à toutes ces conditions.

4. Méthodes de mesure. — Les principales méthodes de mesure employées sont les suivantes :

1° *Transmission inductive des positions d'une aiguille.* — Cette méthode connue sous le nom de système Selsyn, est employée depuis des années par la General electric Co. Elle comporte un moteur à courant alternatif avec un stator triphasé et un rotor monophasé. Le poste d'émission et celui de réception sont sous une même tension triphasée. Si le rotor de l'instrument émetteur tourne, celui de l'instrument récepteur tourne avec lui. Ce dispositif est très robuste, mais nécessite un grand couple directeur dans l'instrument émetteur et ne convient que pour des distances de quelques kilomètres. La maison Trüb, Täuber et Cie construit un dispositif basé sur le même principe, qui consiste en un électrodynamomètre à induction avec un stator monophasé, aux postes d'émission et de réception, les deux appareils étant sous la même tension. Ce système ne convient aussi que pour des distances de quelques kilomètres. La résistance de la ligne de transmission ne doit guère dépasser 300 ohms. La tension est sans influence sur les indications de l'instrument récepteur ; elle n'agit que sur son couple.

2° *Méhodes basées sur une tension auxiliaire.* — Il existe un grand nombre de méthodes de ce genre dans lesquelles intervient une batterie auxiliaire qui influe sur la déviation de l'aiguille de l'instrument de mesure au moyen d'une résistance, Les dispositifs les plus connus sont : le cylindre à résistance d'Hartmann et Braun, l'appareil émetteur à tube circulaire et le potentiomètre à double étrier tombant de Siemens et Halske. Nombreux sont aussi les couplages potentiométriques utilisés en Angleterre et aux Etats-Unis, qui fonctionnent automatiquement et dans lesquels la résistance de la ligne de transmission n'a aucune influence sur les indications de l'instrument récepteur. De tels systèmes conviennent pour des distances de 50 et même de 100 km quand la ligne est en bon état.

3° *Transformation en courant continu de la grandeur à mesurer.* — On a songé à recourir à cette transformation en raison de la grande sensibilité des instruments de mesure à courant continu.

Le plus simple serait d'utiliser à cet effet des redresseurs de courant ; mais les indications obtenues ne seraient alors

(1) G. Keinath. *Elecktrotechnische Zeitschrift*, 17 octobre 1929, t. L, p. 1509-1514 et 1536-1537, 6 500 mots, 10 figures.

que des valeurs moyennes correspondant à la forme de la courbe de courant et non des valeurs efficaces. La General electric Co a établi un dispositif comprenant des redresseurs à cathodes chaudes, qui s'emploie pour de grandes distances. Au lieu de redresseurs directs on peut aussi utiliser des redresseurs thermiques.

Dans le groupe d'instruments le plus important pour ce procédé de mesure figurent le « telewattsystem », les appareils de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz et ceux de la Aron-Gesellschaft. Ils sont tous basés sur le même principe et la transformation du courant s'effectue au moyen de groupes convertisseurs. Le dispositif le plus simple consiste en un compteur à courant alternatif sur l'axe duquel est monté un compteur de quantité d'électricité, muni d'un enroulement spécial qui sert de générateur à courant continu. La tension obtenue est proportionnelle à la vitesse; elle atteint au maximum 1 000 millivolts avec un compteur à vitesse très élevée. Ce système, employé avec des instruments pyrométriques, convient pour des distances maxima de 50 km.

4° *Transformation de la grandeur à mesurer en une série d'impulsions se développant lentement.* — Contrairement aux méthodes précédentes, les méthodes de transmission uniquement par à-coups de courant sont indépendantes de la résistance de la ligne. Le cas le plus simple concerne la transmission d'indications de compteurs ordinaires dont le relevé ne se fait guère qu'une fois par jour. Il suffit alors de produire des à-coups de courant à intervalles de 15 à 20 secondes. Lorsqu'il s'agit de compteurs à maximum le procédé reste le même, mais en raison des périodes d'enregistrement de plus courte durée, les intervalles entre les impulsions ne sont plus que de 5 à 10 secondes. Des compteurs à distance basés sur ce principe sont construits par la Sangamo electric Co, la Westinghouse electric and Manufacturing Co, la General electric Co et les Siemens-Schuckertwerke.

Dans la méthode basée sur le temps d'impulsion, employée par les Deutsche Telephon-Werke et l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, on repère la déviation de l'aiguille de l'instrument de mesure et au temps que met l'aiguille entraineuse pour dévier du même angle en se déplaçant à une vitesse uniforme correspond une impulsion d'une certaine durée, transformée en une nouvelle déviation à l'aide d'un récepteur synchrone.

Une autre méthode, de réalisation plus simple, consiste à transformer la grandeur à transmettre en une série d'impulsions qu'on transforme de nouveau en une déviation continue de l'aiguille de l'instrument récepteur. De nombreux systèmes de transmisson ont été établis sur ce principe. La General electric Co utilise à cet effet un couplage avec des condensateurs rotatifs. La Westinghouse electric and Manufacturing Co construit un compteur dont l'axe porte un dispositif de contact qui, à l'aide d'une batterie, envoie à chaque tour un ou plusieurs impulsions de courant dans la ligne de transmission, qui sont ensuite transformées par le procédé de Burstyn en une déviation d'aiguille continue. Des compteurs du même genre sont aussi construits par la Siemens und Halske A.-G. La General electric Co emploie également, à la place du couplage de réception par condensateurs, un servomoteur spécial, qui, au moyen d'un volant et d'un accouplement élastique, transforme un mouvement de rotation discontinu en un mouvement de rotation uniforme servant à obtenir une déviation d'aiguille également constante. Ce système de transmission donne des indications indépendantes de la tension aux postes d'émission et de réception.

5. Enregistrement et sommation. — Presque toutes les méthodes de mesure à distance conviennent pour enregistrer la grandeur à mesurer. Le genre d'écriture dépend de la valeur de la puissance transmise. Le système « telewatt » n'enregistre que par points, tandis que les systèmes basés sur la durée ou la fréquence des impulsions peuvent enregistrer à l'encre. La plupart des systèmes permettent de transmettre des grandeurs quelconques, qui peuvent être aussi positives ou négatives; ce n'est guère qu'une question d'échelle.

Les méthodes de sommation employées jusqu'ici comprenaient la sommation par transformateurs, qui nécessite le synchronisme des alternateurs, et la sommation au moyen de systèmes multiples dans les instruments indicateurs, dont le principal inconvénient réside dans l'emploi d'appareils anormaux et coûteux. La plupart des procédés de mesure à distance se prêtent facilement à la sommation. Une méthode relativement simple consiste à transformer la grandeur à mesurer en une tension continue et à coupler ensuite les génératrices en série en prenant certaines précautions. La sommation avec les compteurs à distance, spécialement avec les compteurs à maximum, joue un rôle capital. Dans le système de la Sangamo electric Co, cette sommation est assurée au moyen d'une double ligne entre les compteurs et d'un mécanisme servant à inverser rapidement la tension appliquée à l'appareil récepteur. La durée de l'inversion est de l'ordre de 0,02 seconde, l'intervalle entre les impulsions est de 10 secondes à charge maximum, de sorte que la probabilité de la coïncidence de deux impulsions n'est que de 1/500. Pour éviter cette coïncidence d'impulsions qui fausserait le résultat, certains constructeurs ont pris d'autres mesures; ils utilisent, comme les Siemens-Schuckertwerke et la General electric Co, par exemple, des relais spéciaux, munis d'un système différentiel. La sommation de plusieurs grandeurs électriques s'effectue aussi facilement par les méthodes de transmission basées sur la durée ou la fréquence des impulsions. Cette dernière méthode, particulièrement simple, utilise des contacteurs au poste d'émission et un instrument indiquant le courant total avec lequel on alimente un compteur de quantité d énergie, qui produit une série d'impulsions transmise au poste récepteur par une seule ligne. Elle permet en outre de signaler facilement aux différents postes d'émission les sommes mesurées.

6. Mesures multiples a distance. — Plusieurs procédés ont été mis au point. La Siemens und Halske A.-G. utilise la transmission par fréquence d'impulsion au moyen d'interrupteurs rotatifs, synchronisés et peut ainsi transmettre cinq grandeurs par une seule ligne, chacune d'elle en 48 secondes. Le procédé de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft consiste à transmettre des valeurs moyennes, comme les donnent les indicateurs de charge maximum, par la méthode basée sur la durée des impulsions. On peut également recourir aux méthodes par courant continu.

7. Conclusion. — Les procédés de mesure à distance sont si nombreux que ce court exposé ne peut en donner qu'une idée bien sommaire; mais il montre qu'ils permettent déjà de résoudre des problèmes compliqués. On ne peut attribuer à chacun d'eux une valeur bien déterminée. Aucun ne satisfait également à toutes les conditions imposées. Leur choix varie suivant le cas et dépend de la longueur de la ligne de transmission, de l'exactitude requise ainsi que de la nécessité éventuelle de recourir aux mesures multiples.

8. Discussion. — Le choix d'un système de mesure à distance dépend du point de vue auquel on se place. de l'impor-

tance qu'on attache, par exemple, à une transmission indépendante de l'état de la ligne ou à une transmission multiple. Dans le premier cas, on emploiera un système qui travaille par à-coups de courant, car ceux qui font intervenir une amplitude ne peuvent convenir. Dans le second cas, on devra tenir compte qu'un système à transmission multiple exclut toute transmission permanente de valeurs instantanées. Une question se pose alors : quand faut-il recourir à une transmission permanente de valeurs instantanées ou à une transmission intermittente de valeurs moyennes? On peut répondre que la première convient pour de petites et la seconde pour de grandes distances. Une transmission de valeurs instantanées n'est possible que par une méthode potentiométrique ou par une méthode de compensation. Pour une transmission multiple, on doit recourir à un système travaillant par impulsions ou bien au système « telewatt ».

En dehors des usines génératrices la mesure électrique à distance est aussi appelée à jouer un grand rôle en météorologie.

Les Berliner Elektrizitätswerke Aktien-Gesellschaft projettent de l'employer à la répartition automatique de l'énergie qu ils distribuent. A cet effet, la somme des puissances fournies par toutes les usines du réseau sera transmise à un poste central d'où elle sera retransmise aux différentes usines dont la charge sera alors réglée sur un plan indiqué. — C. A.

Progrès techniques réalisés dans la construction de turbogénérateurs de grande puissance (1).

1. Introduction. — La puissance des gros turbogénérateurs a augmenté, durant ces quatre ou cinq dernières années d'une façon prodigieuse et l'amélioration de l'outillage et des procédés d'usinage sont insuffisants pour expliquer ce très rapide développement. Les auteurs se sont proposés d'indiquer les différents progrès de la technique qui ont permis, en modifiant la réalisation de ces machines, d'arriver à construire les importantes unités qu'on utilise de nos jours.

2. Générateur de 62 500 kv-a. — En 1925, la General electric Company construisit et mit en service un alternateur de 62 500 kv-a fonctionnant à 1800 t : mn. Jusqu'alors, la plus puissante machine réalisée pour cette vitesse était prévue pour 37 500 kv-a. Le progrès réalisé était donc considérable. Il fut rendu possible par une nouvelle conception de la ventilation des machines. Celle-ci était obtenue en conduisant une partie de l'air dans une chambre placée au centre du rotor, d'où il s'échappait par des conduites perpendiculaires pour aboutir à l'entrefer. Cette solution devint insuffisante pour des puissances de l'ordre de 50 000 kv-a, à cause de la longueur qu'on était obligé de donner à ces machines ; les pressions d'air à employer devenaient trop élevées. On est cependant arrivé à surmonter cette difficulté en multipliant le nombre des circuits offerts au passage de l'air et en étudiant convenablement leur forme pour que la résistance soit la plus faible possible. De très nombreux modèles de rotors furent établis et on étudia pour chacun d'eux la direction et la vitesse du fluide aux différents points de son parcours. Cette étude fut assez longue, mais elle fut loin d'être inutile. En effet, on arriva par ce moyen à réaliser une machine de 62 500 kv-a dans laquelle la ventilation était assurée, dans des conditions très satisfaisantes par des ventilateurs ayant sensiblement la même puissance que ceux qui étaient autrefois nécessaires pour une machine de 30 000 kv-a.

Il y a quelques années, on était persuadé qu'il était impossible d'obtenir des machines puissantes sans se résoudre à accepter des températures très élevées des bobinages en fonctionnement. Or, certains des plus gros alternateurs construits actuellement accusent des températures plus faibles (45 et 50°C pour le stator et 60 ou 70°C pour le rotor) que celles qui sont admises dans les cahiers des charges (60°C et 85°C respectivement).

Le plus grand nombre des accidents survenus au rotor sont, ainsi que les auteurs ont pu le constater, plutôt d'origine mécanique que d'origine électrique. En particulier, avant l'adoption de la ventilation en circuit fermé, les matières étrangères arrivaient parfois à boucher l'un des conduits ; l'air ainsi enfermé et obligé de se frayer un chemin le long des bobines provoque souvent la rupture de l'isolant en certains points. D'autres fois, c'est le déplacement du cuivre par rapport au fer, qui cause peu à peu l'usure et la détérioration de l'isolant au point où l'on constate plus tard un défaut. Ces accidents se sont multipliés au fur et à mesure que la longueur des bobinages suivant l'axe de la machine a augmenté. Il a paru préférable, alors d'introduire dans la construction des bobinages certaines dispositions permettant une certaine expansion de celui-ci et, en même temps, d'améliorer la qualité des vernis et matériaux isolants. Cette dernière amélioration entraine en effet une diminution de la quantité de matériaux utilisés, circonstance favorable au refroidissement de la machine.

3. Pertes par frottement. — Parmi ces pertes, ce sont surtout celles dues à la présence de l'air qui prennent une très grande importance. Depuis plusieurs années, l'attention des ingénieurs était tournée vers l'avantage des gaz de faible densité. L'emploi de la ventilation en circuit fermé a, par la suite, rendu possible l'utilisation de l'hydrogène, ce qui peut être considéré comme un nouveau progrès remarquable. La ventilation par hydrogène, en effet, permet une augmentation du rendement d'environ 0,6 pour 100, tout en assurant une ventilation aussi efficace pour une machine dont les dimensions sont 25 pour 100 plus grandes que celles d'un alternateur refroidi par l'air.

4. Générateurs a haute tension. — On s'est efforcé d'augmenter la tension donnée directement par les alternateurs et on est parvenu, sans difficulté, à des tensions supérieures à 14 000 v. En ce qui concerne la production directe des tensions qui sont couramment adoptées sur les réseaux de distribution, les auteurs estiment que l'ensemble du générateur à tension moyenne et des transformateurs est beaucoup plus économique qu'un groupe générateur à très haute tension. D'ailleurs, ces derniers ne permetraient pas de supprimer entièrement les transformateurs, car les transmissions d'énergie sont, le plus souvent, réalisées simultanément à plusieurs tensions sur des lignes différentes.

La possibilité d'obtenir pratiquement des tensions très élevées est d'ailleurs démontrée par la réalisation, dans les puissantes machines, du bobinage à double enroulement. Cette construction est motivée par des considérations relatives à l'importance du courant (qui est ainsi de valeur moitié sur chaque circuit conservé indépendant, ce qui simplifie les problèmes relatifs aux disjoncteurs). Mais il est bien évident que le problème serait le même si la

(1) W.-J. Foster et M.-A. Savage. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, octobre 1929, t. xlviii, p. 733-737, 3 000 mots, 7 figures.

machine était à un seul enroulement pour 27 600 v, au lieu d'être à deux enroulements indépendants à 13 800 v.

5. Rotor. — Le diamètre des machines à 62 500 kv-a signalées ci-dessus n'est pas sensiblement plus grand que celui des anciennes machines de 30 000 kv-a ; les efforts dus à la force centrifuge ne sont donc pas plus élevés. Pour des machines encore plus puissantes, on a dû se résoudre à augmenter le diamètre, mais comme la section du cuivre n'a pas été beaucoup augmenté, la section de l'armature a pu être proportionnellement plus grande, ce qui fait que, en définitive, les efforts de traction dus à cette cause sont sensiblement les mêmes que dans les anciennes machines.

Trois types de rotor sont actuellement utilisés : le rotor forgé, le rotor formé de disques assemblés et le rotor à pièces polaires rapportées. Chacun d'eux a ses partisans convaincus et les auteurs estiment qu'ils ont leurs avantages propres et qu'aucun d'eux ne peut être proclamé nettement supérieur aux autres.

6. Générateur de 100 000 kv-a. — Cette machine, installée à Long Beach Station est la plus puissante de toutes celles qui fonctionnent aux Etats-Unis. Sa construction a soulevé un certain nombre de problèmes nouveaux, notamment pour le transport. Le bâti a été divisé en deux parties, l'une centrale en forme de cage et l'autre extérieure formant le support proprement dit.

Cette machine a été construite pour produire une tension de 16 500 v en tournant à 1 500 t : mn.

7. Générateur de 160 000 kv-a. — Le modèle précédent n'est pourtant pas le plus important que l'on ait pu réaliser ; la New-York Edison Companya en effet fait installer dans son usine de la 14e rue, à New-York, un alternateur de puissance presque double (160 000 kv-a), tournant à la même vitesse, mais prévu pour la fréquence de 25 p : s.

Le bâti est entièrement construit en plaques d'acier soudées. Les deux pièces d'extrémité en acier non magnétique et les flasques sont les seules parties de la machine qui ont été fondues. Cette méthode de fabrication a entraîné une diminution très notable du poids et en même temps une plus grande rigidité de l'ensemble. Par exemple, le bâti d'un alternateur de 75 000 kv-a de ce type ne pèse pas plus que celui d'un alternateur de 37 500 kv-a en acier fondu.

Etant donné ses dimensions et son poids, le générateur dont il est question ici a été construit sur place. Il a fallu prévoir un système spécial de tourillons, afin de pouvoir amener le bâti à sa position horizontale après qu'il eût été chargé en position verticale.

Cette machine est la première dans laquelle la disposition du « double enroulement » dont il est parlé ci-dessus ait été employé; chaque enroulement est connecté à des barres omnibus distinctes et, en cas de court-circuit, la machine n'est par suite affectée que sur la moitié de sa charge totale.

Il convient de remarquer que cet alternateur construit pour la fréquence de 25 p : s a été beaucoup plus difficile à réaliser que s'il avait été prévu pour la même puissance à la fréquence normale. En particulier, le volume des matériaux magnétiques employés est beaucoup plus considérable et les enroulements plus difficiles à réaliser, surtout en ce qui concerne les extrémités de bobines.

8. Conclusion. — Comme on le voit par les différents exemples cités ci-dessus, le développement des grands alternateurs a été fort rapide, chaque étape étant marquée par la réalisation d'un alternateur de puissance sensiblement double de celle qui caractérisait la précédente. C'est chaque fois un progrès nouveau de la technique qui a permis cette marche en avant. Les auteurs sont convaincus que la construction n'a pas dit son dernier mot et que l'application de ces différents progrès permet d'ores et déjà d'établir les plans et de construire des machines de 200 000 kw fonctionnant avec un facteur de puissance de 0,9, c'est-à-dire d'une puissance apparente de 222 000 kv-a. — B. E.

Compensateurs synchrones en série (1).

L'auteur décrit un dispositif de compensation des chutes de tension inductives dans les lignes, qui, contrairement aux systèmes les plus employés (moteurs synchrones) fournissant à la ligne du courant magnétisant, y insère une tension égale et opposée à la chute de tension. Celle-ci se trouve donc annulée. Ce dispositif comporte un « compensateur d'inductance » entraîné par un moteur synchrone branché sur le réseau. Le compensateur est de construction analogue à celle d'un alternateur normal peu saturé, mais ses enroulements statoriques sont prévus pour être connectés en série avec la ligne, soit directement soit par l'intermédiaire d'un transformateur. Son excitation est proportionnelle au courant de la ligne. A cet effet, celle-ci est fournie par un redresseur à vapeur de mercure, ou par tout autre convertisseur, alimenté par le courant de la ligne et donnant un courant continu proportionnel. Le stator du compensateur ou celui du moteur peuvent être déplacés par un dispositif quelconque de commande de manière que la force électromotrice induite, dans le stator du compensateur soit déphasée de 90° en avant du courant qui le parcourt, afin qu'elle soit en opposition avec les chutes de tension inductives. Cette condition est évidemment à réaliser pour chaque valeur du facteur de puissance. Une commande automatique peut être prévue à cet effet.

La tension induite étant déphasée de 90° en avant du courant, le compensateur n'est le siège d'aucun couple résistant et le moteur d'entraînement n'a à fournir que la puissance correspondant aux pertes mécaniques du compensateur. Cependant, celui-ci est en équilibre instable en ce sens que toute oscillation de son rotor de part et d'autre de la position correspondant au déphasage de 90° en avant entre le courant et la tension provoque un couple tendant à accentuer l'amplitude de l'oscillation. La position d'équilibre stable serait celle déphasée de 180° par rapport à la précédente. Le moteur synchrone doit donc avoir un couple synchronisant plus grand que celui qui pourrait tendre dans le compensateur à faire glisser le rotor par rapport au stator d'un pas polaire dans un sens ou l'autre.

Une remarque s'impose : le seul avantage de la réactance des lignes étant la limitation des courants de court-circuit, il est intéressant de déterminer la saturation du circuit magnétique du compensateur de telle manière qu'à partir d'un certain courant la tension de compensation n'augmente pour ainsi dire plus et que la ligne puisse encore absorber une notable chute de tension. — M. R.

(1) Theodore-H. Morgan. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, décembre 1929, t. xlviii, p. 872-875, 2 300 mots, 3 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société industrielle des Téléphones.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1929.

Des rapports présentés à cette assemblée nous extrayons les renseignements suivants concernant l'activité et la situation financière de cette société, au capital de 54 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 25, rue du Quatre-Septembre.

Dans toutes les fabrications, le montant des ventes a été en augmentation pendant l'exercice 1928-1929; les prix de vente étant restés sensiblement les mêmes, il en est résulté une amélioration dans les rendements de ces fabrications.

Le département « Téléphonie » a reçu de nombreuses commandes d'extensions de multiples anciennement construits par la société qui ont été passées par l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones : extensions des multiples de Nancy, de Marcadet, de Montreuil-sous-Bois, d'Alger, de Toulouse, de Saint-Germain, de Perpignan et du bureau interurbain de Rennes.

Dans le département « Caoutchouc », l'usine de Clichy a vu commencer l'ère des bénéfices; ce stade a été difficile à atteindre parce que la société n'avait pas encore pu réaliser un chiffre d'affaires suffisamment élevé pour supporter les frais généraux de cette usine; son plein développement n'est pas encore atteint, les possibilités d'augmentation restent grandes. L'usine de la rue du Théâtre, spécialement affectée à la fabrication des objets moulés, des tapis, de l'ébonite, et dont les outils perfectionnés et puissants, récemment installés, sont mis successivement en œuvre, a vu ses prix de revient diminuer, et sa force de production augmenter. D'importantes commandes de tapis pour paquebots ont été faites par diverses sociétés de navigation françaises, hollandaises et anglaises. D'autre part, les exportations de chaussures en Grande-Bretagne et dans les pays d'Orient se sont maintenues.

Dans le département « Câbles », le chiffre d'affaires et les bénéfices ont été en augmentation. La fabrication du câble de Bordeaux à Toulouse est en pleine activité; il sera terminé au mois de mai prochain et posé dans le courant de l'été. Il y a tout lieu de penser que de nouvelles commandes de câbles à longue distance suivront à bref délai.

Aux postes de l'actif du bilan on constate les augmentations suivantes : 4 321 565,62 fr pour les immeubles et usines par suite d'installations nouvelles; 293 458,60 fr pour les participations industrielles, résultant d'une nouvelle participation; 14 750 733,47 fr pour les disponibilités par suite de l'émission de 30 000 obligations de 1 000 fr effectuée en mars 1929; 10 124 820,58 fr des comptes débiteurs, résultant du développement des affaires et de la nécessité d'accorder des facilités de paiement à la clientèle; 9 482 814,75 fr pour les marchandises en magasin, augmentation qui s'explique par l'importance des commandes et la hausse des matières premières, notamment du cuivre et du plomb. Au passif, on relève une augmentation de 5 996 196,76 fr des comptes créditeurs, contre-partie naturelle de l'augmentation du prix des matières premières et de l'augmentation du chiffre d'affaires.

Les bénéfices bruts de l'exercice se sont élevés à 15 377 120,45 fr; avec le report de l'exercice précédent, soit 109 869,56 fr, le crédit du compte de profits et pertes est de 15 486 990,01 fr. Au débit de ce compte figurent les sommes suivantes: frais généraux, 4 887 199,47 fr, dont 1 872 426,02 fr pour frais d'administration et d'études et 3 014 773,45 fr pour le service commercial; intérêts des obligations à 4 pour 100 émises en 1893, 215 380 fr; amortissement de la prime de remboursement de ces obligations, 35 175,86 fr; abonnement au timbre 148 369 fr. Le total du débit est donc de 5 286 124,33 fr, de sorte que le solde créditeur est de 10 200 865,62 fr.

Ce solde créditeur est réparti comme il suit : 3 000 000 fr au fonds d'amortissement; 354 549,80 fr à la réserve légale; 2 700 000 fr pour intérêt à 5 pour 100 de la valeur des actions, soit 15 fr par titre; 403 644,63 fr au conseil d'administration; 201 822,31 fr pour rémunérations supplémentaires à la direction et au personnel; 1 300 000 fr pour le fonds de prévoyance; 2 160 000 fr pour dividende supplémentaire aux actions; 80 848,94 fr pour report à nouveau.

Le dividende se trouve ainsi être de 27 fr par action.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Immeubles du siège social, de Rouen et Reims..	1 983 928,76
Usine de la rue des Entrepreneurs.....	9 804 819,24
Usine de Levallois-Perret.....	4 103 877,61
Usine de la rue du Théâtre (Grenelle).....	11 210 159,59
Usine de Bezons.....	32 630 082,66
Usine de Calais.....	3 722 666,66
Usine de Clichy..	13 141 259,72
Brevets..	530 419,70
Participations industrielles.....	510 509,30
Caisses, comptes courants et disponibilités.....	22 950 542,83
Comptes débiteurs.....	42 725 391,18
Marchandises en magasin et en cours de fabrication.....	69 371 069,91
Prime de remboursement amortissable des obligations 4 pour 100, 1893.....	338 516,84
Prime de remboursement amortissable des obligations 5,5 pour 100, 1929	1 500 000 »
	314 534 294 »

Passif.

	fr
Capital social.....	54 000 000 »
Réserve légale.....	3 437 166,38
A reporter....	57 437 166,38

	fr
Report...	57 437 166,38
Primes sur émissions	18 623 980,10
Fonds de prévoyance	15 500 000 »
Fonds d'amortissement et de renouvellement	41 334 546,16
Obligations 4 pour 100, 1893 en circulation	5 197 500 »
Obligations 5,5 pour 100, 1929 en circulation	30 000 000 »
Effets à payer	3 8 4 757,83
Comptes créditeurs (fournisseurs et divers)	31 085 268,71
Sommes reçues à valoir sur commandes en cours.	707 511,08
Coupons d'actions et d'obligations échus restant à payer (impôts déduits)	291 250,04
Coupons des obligations 4 pour 100, 1893 à échéance du 1er juillet 1929 impôts déduits)	78 948,02
Obligations 4 pour 100, 1893 amorties restant à rembourser	242 500 »
Solde du compte profits et pertes	10 200 865,68
	214 534 294 »

Société industrielle d'Energie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 18 DÉCEMBRE 1929.

Le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 10 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 60, rue Caumartin, donne les renseignements suivants, d'une part, sur les deux filiales de la société, d'autre part, sur la situation financière de la société elle-même.

Compagnie d'Electricité de Varsovie. — Les ventes d'énergie électrique de cette filiale ont, pendant le dernier exercice, sensiblement progressé; elles avaient, en 1927, porté sur un total de 68 903 000 kw-h et elles ont, en 1928, dépassé 80 millions. Les résultats de l'exercice 1928 ont, d'ailleurs, après dotation de la provision créée en vue de certaines difficultés d'ordre fiscal, permis une répartition un peu supérieure à celle de l'année précédente.

Comme il a été dit dans les précédents rapports, la Compagnie d'Electricité de Varsovie s'appuyant sur la convention franco-polonaise de 1922, avait, il y a déjà plusieurs années, essayé de s'entendre avec l'autorité concédante au sujet de l'ajustement des tarifs de vente de l'énergie électrique et de la prolongation de la concession. Mais elle a dû, en présence de l'attitude de la Ville de Varsovie, recourir à la procédure arbitrale instituée par ladite convention.

Le Gouvernement français et le Gouvernement polonais ont, sur la question de la compétence de l'arbitre, respectivement pris fait et cause pour la Compagnie d'Electricité et pour la Ville de Varsovie. Depuis lors, l'arbitre a tenu audience à Amsterdam. Tandis que le Gouvernement polonais, développant le point de vue de la Ville de Varsovie, plaidait l'incompétence de l'arbitre, le Gouvernement français, appelant dans l'instance la Compagnie d'Electricité de Varsovie pour soutenir près de lui leur commune interprétation de la convention franco-polonaise demandait à l'arbitre de se déclarer compétent. La décision vient d'être rendue : l'arbitre se déclare compétent pour statuer sur la demande formée par la Compagnie contre la Ville de Varsovie.

Société continentale de Traction et d'Eclairage par l'Electricité. — Dans le rapport de l'an dernier, il a été signalé que la Ville de Libau (Lettonie) avait racheté les deux services précédemment concédés à cette société : distribution d'électricité et tramways. La société a été déchargée de l'exploitation le 1er novembre 1928 et les résultats des dix derniers mois de fonctionnement de l'entreprise lui ont permis de distribuer, pour l'exercice 1928, un dividende de 8 pour 100.

Cette société a maintenant mené à bonne fin la liquidation de tous ses intérêts en Lettonie et elle a pris diverses dispositions en vue de l'utilisation des capitaux provenant de cette liquidation.

Le crédit du compte de profits et pertes est de 10 809 428,80 fr. Si l'on en déduit, d'une part, les frais généraux, frais d'administration et divers, soit 477 156,68 fr et, d'autre part, les taxes et impôts divers, se montant à 1 853 425,10 fr, le bénéfice net de l'exercice ressort à 8 478 847,02 fr.

Sur ce bénéfice, il est prélevé une somme de 3 700 000 fr pour porter à 4 millions de francs la réserve supplémentaire constituée l'an dernier et destinée tant à la libération des actions Electricité de Varsovie, émission 1925 (sur lesquels trois quarts restent encore à appeler) possédées par la société qu'à l'entretien ou au développement des affaires de la société.

Dans ces conditions, la répartition du bénéfice de l'exercice 1928-1929 se présente comme il suit : intérêt de 5 pour 100 aux actions, 500 000 fr; réserve supplémentaire ci-dessus visée, 3 700 000 fr; tantièmes au conseil d'administration, 427 884,70 fr; aux actions, 2 995 192,91; aux parts bénéficiaires 855 769,41.

La somme brute à répartir entre les 40 000 actions formant le capital social est ainsi de 500 000 fr, plus 2 millions 995 192,91 fr, soit 3 495 192,91 ou 87,379 fr par action. La somme brute à répartir entre les 10 000 parts bénéficiaires est de 855 769,41 soit 85,576 fr par titre.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Titres et participations	11 442 657,50
Cautionnements	25 275 »
Caisse et banques	12 643 950,16
Débiteurs divers	378 118,05
Mobilier	1 »
Compte d'ordre (versements non appelés sur titres souscrits)	13 873 500 »
	38 363 501,71

Passif.

	fr
Capital	10 000 000 »
Réserve légale	1 000 000 »
Fonds de prévoyance et de réserve	1 806 664,17
Provision pour amortissements	1 400 000 »
Réserve supplémentaire	300 000 »
Créditeurs divers	1 504 490,52
Compte d'ordre (versements non appelés sur titres souscrits)	13 873 500 »
Profits et pertes	8 478 847,02
	38 363 501,71

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur quelques précisions sur l'application de la loi sur les assurances sociales.

Le « Journal officiel » des 25 et 29 janvier 1930 publie, pages 144 et 233 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et réponses qui suivent.

5947. — M. Delmotte expose à M. le ministre du Travail : *a*) qu'une société de secours mutuels constitue une caisse primaire d'assurances sociales pour ses membres soumis à la loi du 5 avril 1928, en observant l'article 265 du règlement d'administration publique ; *b*) que cette société surprend un de ses membres en contravention avec les statuts de la mutuelle et décide de l'expulser ; et demande : 1° si elle peut exiger avant l'expiration du délai de deux ans que son ex-sociétaire soit déclaré d'office démissionnaire, par voie de conséquence, de la caisse primaire fondée par cette société et réservée à ses membres, l'ancien sociétaire étant alors invité à désigner une autre caisse pour y faire transférer son dossier, dans les conditions prévues par le règlement pour cette sorte d'opération ; 2° si la société est obligée d'attendre l'expiration du délai de deux ans pour rompre le contrat tacite qui la lie à l'ex-sociétaire ; et ajoute que cette question pose le principe de la conservation de l'esprit mutualiste dans les sociétés et de la liberté de recrutement des caisses d'assurance sociale, gérées par la mutualité. (Question du 7 novembre 1929.)

Réponse. — Les dispositions de l'article 35, paragraphe 1er, de la loi du 5 avril 1928, qui prévoient que l'adhésion de l'assuré à une caisse d'assurance est valable pour deux ans, ont pour but d'éviter des changements de caisse trop fréquents et de maintenir les assurés dans les caisses qu'ils ont choisies, sauf s'ils changent de lieu de travail. Elles ne paraissent pas empêcher une caisse primaire de radier l'assuré qui a contrevenu aux dispositions statutaires, si les statuts de la caisse prévoient cette sanction. De même, si la caisse primaire n'est constituée que pour les seuls membres de la société de secours mutuels fondatrice, la radiation, par la société de secours mutuels d'un de ses membres, qui aura contrevenu aux statuts, aura pour effet d'empêcher celui-ci de continuer à faire partie de la caisse primaire.

5957. — M. Salles rappelle à M. le ministre du Travail que l'article 246 du règlement d'administration publique sur la loi des assurances sociales porte que les organismes fondateurs des caisses primaires doivent interdire dans leurs statuts toutes discussions ayant un caractère politique ou religieux ; et demande : 1° s'il est nécessaire que ces discussions à caractère politique ou religieux soient interdites de façon explicite ; 2° si une interdiction implicite ne suffirait pas, alors que cette clause a été approuvée ; 3° si, lorsqu'une société de secours mutuels approuvée a inscrit dans ses statuts : « Toutes les discussions étrangères au but de la société sont interdites dans les réunions de l'assemblée générale et du conseil », elle serait autorisée, le cas échéant, à créer une caisse primaire, les autres conditions étant remplies. (Question du 7 novembre 1929.)

Réponse. — L'article 246, paragraphe 2, du décret du 30 mars 1929 prévoit formellement qu'une caisse primaire ne peut obtenir l'agrément qu'autant que les statuts de l'organisme fondateur « comportent l'interdiction de toutes discussions ayant un caractère politique ou religieux ». Cette interdiction ne saurait ainsi être implicite. Toutefois, il appartiendra au service compétent d'apprécier, le cas échéant, s'il résulte des statuts, sans contestation possible, que les discussions de la nature de celles susvisées sont interdites.

6150. — M. Jean Lerolle demande à M. le ministre du Travail : 1° quelle est pour l'application de la loi des assurances sociales, la situation d'un employé payé au mois, qui, tombant malade, continue à toucher son salaire ; 2° si cet employé a droit, en outre, au demi-salaire payé par la caisse-maladie. (Question du 15 novembre 1929.)

Réponse. — Les assurés auront droit, quels que soient les avantages qui leur seront consentis en cas de maladie par leur employeur, à l'intégralité des prestations en nature et en espèces prévues par la loi sur les assurances sociales. Mais les employeurs et leur personnel pourront, d'un commun accord, faire application des dispositions de l'article 44, paragraphe 3, de la loi précitée, relatives au cas auquel fait allusion l'honorable député.

6239. — M. Frédéric Pin demande à M. le ministre du Travail si les représentants de commerce vendant des marchandises à la commission pour le compte de différentes maisons mais n'ayant aucun traitement fixe doivent être considérés comme salariés et, à ce titre, bénéficier de l'assurance obligatoire des assurances sociales. (Question du 21 novembre 1929.)

Réponse. — Il semble, sous réserve de la jurisprudence et des cas d'espèce, que les voyageurs de commerce, même travaillant uniquement à la commission pour le compte d'un ou de plusieurs employeurs, doivent être considérés comme des salariés au regard des assurances sociales, et bénéficier à ce titre de l'assurance obligatoire, si leur rémunération annuelle ne dépasse pas les limites fixées à l'article 1er de la loi du 5 avril 1928.

6271. — M. Marcel Cachin demande à M. le ministre du Travail si, en application de la loi sur les assurances sociales, les sociétaires d'une coopérative de production sont assurés obligatoires ou assurés facultatifs ; pose la même question en ce qui concerne les auxiliaires (Question du 25 novembre 1929.)

Réponse. — 1° Sous réserve de la jurisprudence et des dispositions particulières des contrats, les sociétaires d'une coopérative de production paraissent devoir être considérés au regard des assurances sociales comme des salariés et bénéficier, à ce titre, de l'assurance obligatoire, si leur rémunération annuelle ne dépasse pas les limites fixées à l'article 1er de la loi du 5 avril 1928 ; 2° les auxiliaires, employés dans une coopérative de production sont des salariés et bénéficieront, comme tels, de l'assurance obligatoire dans les conditions de la loi précitée.

6308. — M. Delmotte demande à M. le ministre du Travail si un assuré obligatoire, veuf, vivant dans sa maison avec sa fille non salariée, veuve elle-même avec deux enfants en bas âge, aura droit à l'assurance-maladie pour sa fille et ses deux petits-enfants. (Question du 26 novembre 1929.)

Réponse. — Aux termes de l'article 4 de la loi sur les

assurances sociales, l'assuré n'a droit aux prestations en nature que pour lui, son conjoint et ses enfants non salariés de moins de 16 ans.

5758. — M. Marsais demande à M. le ministre du Travail : 1° si les pensionnés civils et militaires (ancienneté et proportionnelle) sont assimilables aux salariés dont l'affiliation aux assurances sociales est obligatoire; 2° dans l'affirmative, s'il convient, pour déterminer la rémunération totale annuelle, d'ajouter le montant de la pension aux salaires payés par l'employeur. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — Il résulte des dispositions de l'article 49 de la loi sur les assurances sociales et de celles de l'article 3, paragraphe 3, de ladite loi, que les salariés de l'Etat, même après la liquidation de leur retraite, demeurent soumis à la législation qui les régit, à l'égard des risques garantis par les assurances sociales. Les pensionnés civils et militaires ne pourront ainsi, s'ils sont salariés, être inscrits dans l'assurance obligatoire. Toutefois, les retraités militaires proportionnels, en tant qu'ils ne bénéficient pas d'une retraite de vieillesse, pourront être inscrits dans l'assurance, s'ils remplissent, par ailleurs, les conditions prévues par la loi. Dans ce cas, il n'y aura pas lieu d'ajouter au chiffre de leur salaire le montant de leur pension, en vue de la détermination des contributions obligatoires, le salaire seul entrant en compte pour cette détermination, aux termes de l'article 2, paragraphe 1er, de la loi du 5 avril 1928.

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux ouvriers étrangers saisonniers.

Le « Journal officiel » du 25 janvier 1330 publie, page 194, des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

6310. — M. Piquemal demande à M. le ministre du Travail : 1° quelle sera la situation des saisonniers belges et des saisonniers étrangers en général, venant travailler en France et s'ils bénéficieront de l'assurance au même titre que les ouvriers français; 2° s'il y a des conventions entre le Gouvernement français et les pays étrangers ainsi que le prévoit la loi sur les assurances sociales. (Question du 26 novembre 1929.)

Réponse. — 1° Aux termes de l'article premier, paragraphe 4, de la loi sur les assurances sociales, seuls les salariés étrangers ayant leur résidence réelle et permanente en France sont assurés, s'ils remplissent par ailleurs les conditions prévues par cette loi pour bénéficier de l'assurance obligatoire; d'autre part, pour bénéficier des prestations de l'assurance maladie et de l'assurance invalidité, les salariés doivent justifier qu'ils ont cotisé durant un certain nombre de jours pendant la période précédant le début de l'affection ou l'accident Il en résulte que les ouvriers étrangers saisonniers, dans l'état actuel des textes, ne pourront bénéficier des prestations des assurances sociales qu'autant que des arrangements auront pu être conclus avec leur pays d'origine, pour leur assurer tout ou partie de ces prestations ; 2° aucune convention n'est encore signée avec des pays étrangers en ce qui concerne l'application de la loi du 5 avril 1928.

Sur l'application de la loi sur les assurances sociales aux personnes n'effectuant qu'occasionnellement un travail salarié.

Le « Journal officiel », dans ses numéros des 22 et 25 janvier 1930, publie, pages 97 et 144 des « Débats parlementaires. Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent:

6512. — M. Rolland demande à M. le ministre du Travail si une personne qui, en même temps qu'elle travaille pour son compte, travaille chez elle pour le compte d'un industriel et est payée aux pièces peut être considérée comme assurée obligatoire de la loi du 5 avril 1928. (Question du 5 décembre 1929.)

Réponse. — La personne susvisée, effectuant un travail salarié, relèvera de l'assurance obligatoire si son salaire n'excède pas les limites fixées par la loi. Toutefois, aux termes de l'article 141 du décret du 30 mars 1929. si elle n'effectue qu'occasionnellement un travail salarié, elle pourra prétendre au bénéfice de l'assurance facultative, sous réserve de remplir, par ailleurs, les conditions exigées par la loi. Dans ce cas, elle pourra demander que la double contribution, versée au titre de l'assurance obligatoire, soit portée à son compte dans l'assurance facultative et déduite des cotisations exigibles pour les trimestres suivants au titre de cette dernière assurance.

5761. — M. Georges Pernot demande à M. le ministre du Travail si les dispositions de la loi sur les assurances sociales sont applicables au cas d'un manœuvre ou d'une femme de ménage qu'on emploie au jour le jour, sans aucun engagement, pendant une, deux ou trois heures par jour, et qu'on paye chaque jour à la fin du travail. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — 1° Les manœuvres et les femmes de ménage, même travaillant une heure ou deux par jour, seront soumis. comme leurs employeurs, aux obligations de la loi du 5 avril 1928 ; 2° ces salariés bénéficieront des diverses prestations de l'assurance, sous réserve de justifier du nombre de cotisations journalières exigées par la loi pour l'attribution de chaque prestation; mais, en ce qui concerne les prestations proportionnelles au salaire, ils n'auront ou n'ouvriront droit qu'aux indemnités, allocations ou pensions correspondant au salaire moyen défini, pour chaque assurance, par la loi du 5 avril 1928 ; 3° si ces personnes n'effectuent de travaux salariés qu'occasionnellement et participent à l'assurance facultative, ou pour les femmes de ménage à l'assurance spéciale aux femmes non salariée des assurés, les contributions ouvrières et patronales correspondant aux journées de travail seront imputées sur les cotisations dues pour ces assurances.

Sur la possibilité qu'ont les propriétaires intéressés de se substituer à la commune pour l'électrification des campagnes.

Le » Journal officiel » du 22 janvier 1930 publie, page 90 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent ;

6747. — M. Compère-Morel demande à M. le ministre de l'Agriculture si, dans une municipalité qui, par carence ou inertie, ne donne pas suite à un projet de l'électrification des campagnes qui a été établi par le Génie rural, les propriétaires intéressés peuvent passer outre la commune en se groupant en syndicat pour demander l'exécution de ce devis subventionné par l'Etat et le département. (Question du 19 décembre 1929.)

Réponse. — Les propriétaires intéressés peuvent se substituer à la municipalité défaillante en vue de réaliser l'extension du réseau, telle que le projet en a été établi par le service du Génie rural et dans les conditions prévues par le cahier des charges de concession ; ces propriétaires ont à se grouper en une association syndicale selon les dispositions des lois des 21 juin 1865, 22 décembre 1888, 27 décembre 1926.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 8. — 22 FÉVRIER 1930.

Chronique. — Comité électrotechnique français : Séance du 20 juin 1929, p. 273. — Bibliographie : Niagara power (La puissance du Niagara), par E.-D. ADAMS, p. 274; Les méthodes nouvelles en analyse quantique (Mécanique quantique. Mécanique ondulatoire), par Julien PACOTTE, p. 276; A la conquête des ondes. La T. S. F., par Paul BRENOT, p. 276.

Auguste Rateau, membre de l'Institut, p. 275-276.

Section scientifique et technique. — Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent, par S. HELD, p. 277. — Remarques au sujet de l'autoamorçage, par G. DARRIEUS, p. 284. — Revues, analyses et informations : L'influence des conditions à la surface et des charges spatiales sur la conductivité des corps mauvais conducteurs, p. 285; L'effet Barkhausen dans le fer, le nickel et le permalloy : Mesure des changements discontinus de l'intensité d'aimantation, p. 287; Pertes diélectriques aux fréquences élevées, p. 289; La photoionisation de la vapeur de potassium, p. 290.

Section industrielle. — Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile (*suite et fin*), par J. KOPELIOWITCH, p. 291. — Comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif en basse tension 115/200 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé, par G BURIN DES ROZIERS, p. 296. — Revues, analyses et informations : La protection contre la foudre, p. 299; L'électricité dans l'industrie de l'imprimerie, p. 302; Choix de la puissance des compensateurs synchrones dans les sous-stations de l' « Elektrotok », p. 302.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société des Forces du Fier, p. 303; Compagnie des Eaux et de l'Electricité de l'Indochine, p. 304.

Section de législation. — Exonération de l'impôt foncier en faveur des ouvrages établis pour la distribution de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou à des syndicats de communes, par Edgar MICANEL, p. 305. — Législation, jurisprudence, réglementation : Circulaire relative à l'application de l'article 18 du décret du 2 avril 1926 portant réglement sur les appareils à vapeur, p. 306; Sur la législation relative à l'organisation du crédit aux sociétés coopératives d'artisans, p. 312.

Comité électrotechnique français : Séance du 20 juin 1929. — La séance est ouverte à 17 heures sous la présidence de M. E Brylinski, président du Comité.

Sont présents : MM. Arbelot, Arrighi de Casanova, Blaché, Blondin, Boucherot, Brylinski, Darrieus, Drouin, Duval, Esbran, Ferrier, Genissieu, Girault, Guery, Guilbert, Janet, Lebaupin, Maurice Leblanc, Mouchelet, Roth, Stiffel.

Absents excusés : MM. Brenot, Bunet, Carpentier, Cornuault, Eschwège, Grosselin, Girousse, Lange, de la Mathe, Paré, Ulrich.

I. PROCÈS VERBAL DE LA SÉANCE DU 14 DÉCEMBRE 1928. — Le procès-verbal de la séance du 14 décembre 1928 est lu et adopté (1).

II. COMPTES DE L'EXERCICE 1928. — M. Blondin, trésorier, présente les comptes du Comité pour l'exercice 1928 ainsi que ceux de la Commission électrotechnique internationale; il indique en quelques mots la situation de trésorerie du Bureau central, qui fait ressortir un déficit de 78 000 fr en 1928.

(1) Ce procès-verbal a été publié dans la *Revue générale de l'Électricité*, 13 juillet 1929, t. XXVI, p. 41-42.

III. CONGRÈS INTERNATIONAL DE L'ELECTRICITÉ. — M. Paul Janet expose le résumé des réponses reçues des Comités nationaux au sujet du projet de réunion d'un Congrès international de l'Electricité à Paris en 1931; il estime que par suite du grand nombre de réunions déjà prévues, Centenaire de Faraday, en Angleterre, Conférence des grands Réseaux électriques à haute Tension, à Paris, etc..., le congrès projeté ne présente pas de chances suffisantes de succès et qu'il convient d'en ajourner la réunion (1).

Quelques membres proposent de tenir ce congrès international à Londres en présentant cette proposition au Comité britannique comme un acte de courtoisie du Comité français; d'autres membres pensent qu'on pourrait, à l'occasion de la Conférence des grands Réseaux électriques à haute Tension et de l'Exposition coloniale, tenir une réunion très simple à Paris afin de marquer cette date du cinquantenaire de 1881. Sur la proposition du président, il est finalement décidé de réexaminer la question en octobre ou en novembre.

IV. RÉUNION DE LA COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE EN 1930. — Le secrétaire rappelle qu'une réunion plénière de la Commission électrotechnique internationale se tiendra à

(1) Depuis, il a été convenu que ce congrès pourrait avoir lieu en 1932.

Oslo en 1930, du 27 juin au 9 juillet; des visites sont prévues à Copenhague et à Stockholm ainsi que des visites d'usines électriques.

V. Nominations de délégués. — Le secrétaire annonce que l'Union des Syndicats de l'Electricité a proposé la nomination de M. Ferrier comme délégué en remplacement de M. Nelson-Uhry; cette nomination est acceptée à l'unanimité.

Il est signalé que MM. Roth, Darrieus, Girault, ont été nommés membres de la Commission mixte de la Mécanique de l'Association française de Normalisation auprès de laquelle ils représenteront le Comité; de même MM. Delamarre, Hertz et Chomienne, représentants de l'industrie mécanique, ont été délégués par l'Association française de Normalisation à la sixième Commission de l'Union des Syndicats de l'Electricité, commission mixte qui remplace pratiquement la Commission des Machines du Comité électrotechnique français; ces dispositions permettront de réaliser le travail en commun dans les commissions. Les fascicules de normalisation approuvés durant la dernière réunion de décembre 1928 ont été transmis à l'Association française de Normalisation et sont actuellement à l'examen.

VI. Travaux des comités d'études de la Commission électrotechnique internationale. — Le président rappelle que trois comités d'études doivent se réunir à Londres au début de juillet, à savoir :

Le Comité n° 5 des Moteurs thermiques du 1er au 6 juillet; MM. Darrieus, Demany, Arrighi de Casanova, Cauchois, comptent se rendre à cette réunion (1).

Le Comité n° 2 des Spécifications des Machines du 10 au 13 juillet; MM. Roth, Girault, Darrieus, Demany, Cassegrain, comptent y assister (2).

Le Comité des moteurs de Traction se réunira du 8 au 10 juillet; M. Péridier y assistera (3).

Le président remercie les collègues qui veulent bien suivre ces travaux et en particulier MM. Roth, Darrieus, Cauchois qui ont pris soin de transmettre les réponses du Comité français au Bureau central sur les questions soumises à l'examen.

Il résulte de lettres reçues de M. Good, secrétaire du Comité britannique, que celui-ci a tenu compte, dans une certaine mesure, des rectifications demandées par le Comité français au texte des spécifications des machines dans les récents fascicules nos 201, 202, 203, 204 qu'il a mis en circulation.

Le Bureau central a fait une proposition en vue de l'admission de la tension de 120 000 v dans la liste des tensions normales; quelques réseaux français ayant adopté cette tension, le Comité demande à M. Genissieu de bien vouloir faire connaître son avis sur cette proposition.

(1) Un compte rendu sommaire de cette réunion, par M. Darrieus, a été donné dans la *Revue générale de l'Electricité*, 31 août 1929, t. xxvi. p. 305-308.

(2) Voir le compte rendu de cette réunion, par M. P. Girault, dans la *Revue générale de l'Electricité*, 9 novembre 1929, t. xxvi, p. 731-748. Voir aussi l'article de M. P. Girault, la note de M. Ed. Roth et l'article de M. Roland David sur l'une des questions discutées à cette réunion dans la *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre et 2 novembre 1929, t. xxvi, p. 749-452 et 720-722.

(3) Voir le compte rendu de cette réunion, par M. Péridier, dans la *Revue générale de l'Electricité*, 7 décembre 1929, t. xxvi, p. 914-916.

Le président rappelle qu'une réunion du Sous-Comité international du Vocabulaire s'est tenue en juin 1929 à Paris (1) faisant suite aux nombreuses réunions déjà tenues; le travail avance d'une manière satisfaisante sous la direction de M. Mailloux.

VII. Divers. — Le secrétaire indique que le Vocabulaire de Télégraphie et de Téléphonie rédigé par une commission internationale est achevé et sera publié en octobre; il ajoute que le Comité français publiera prochainement dans la « Revue générale de l'Electricité » les symboles graphiques pour la téléphonie et la radiotéléphonie (2).

Le président signale que le Sous-Comité du Vocabulaire a été saisi d'une proposition tendant à donner le nom de Hertz à l'unité de fréquence. Cette proposition provoque une discussion assez vive, à la suite de laquelle elle est adoptée par le Comité à une forte majorité: cette décision sera notifiée au Bureau central de la Commission électrotechnique internationale.

L'ordre du jour étant épuisé la séance est levée à 18 h 30.

Bibliographie : Niagara power (La puissance du Niagara), par E.-D. Adams (3). — Peu de sociétés ont exercé une influence aussi marquée dans l'industrie et le commerce, et ont joué un rôle aussi important dans le développement de la génération et de la transmission de l'électricité que la Niagara Falls Power Company.

L'histoire de cette compagnie est relatée dans ces deux volumes par M. E.-D. Adams, qui, pendant trente-huit ans, a consacré son habileté, son temps et son influence à la réussite de cette entreprise.

Le premier volume traite de l'histoire des chutes du Niagara et des différents projets élaborés dans le but d'utiliser la puissance des chutes. L'auteur rappelle les découvertes de ces chutes et cite les premiers pionniers, parmi lesquels ont doit mentionner le savant français Mascart, qui ont eu l'idée de mettre en œuvre la puissance énorme qui s'y trouvait disponible. Un chapitre est consacré aux divers traités contractés par les Etats-Unis afin d'avoir la libre disposition des rivages entourant les chutes. Ensuite l'auteur expose la création de la Niagara Falls Power Company et son évolution rapide entre 1886 et 1891. Après avoir énuméré les différentes sociétés qui se sont associées progressivement jusqu'à la constitution de la grande société actuelle, il aborde l'exposé de l'organisation de celle-ci au point de vue social et financier.

Le deuxième volume a trait plus spécialement à la construction et à la marche des usines génératrices et du réseau à courant alternatif qu'elles desservent.

De nombreux dessins et photographies des chutes, des aménagements, des constructions et aussi les portraits des personnalités qui ont le plus contribué à la prospérité de la Compagnie, illustrent cet important ouvrage présenté sous une forme particulièrement luxueuse et dont la lecture suscite le plus vif intérêt. — I. F.

(1) Voir le compte rendu sommaire de cette réunion, par M. J. Blondin, publié dans la *Revue générale de l'Electricité*, 24 août 1929, t. xxvi, p. 265-267.

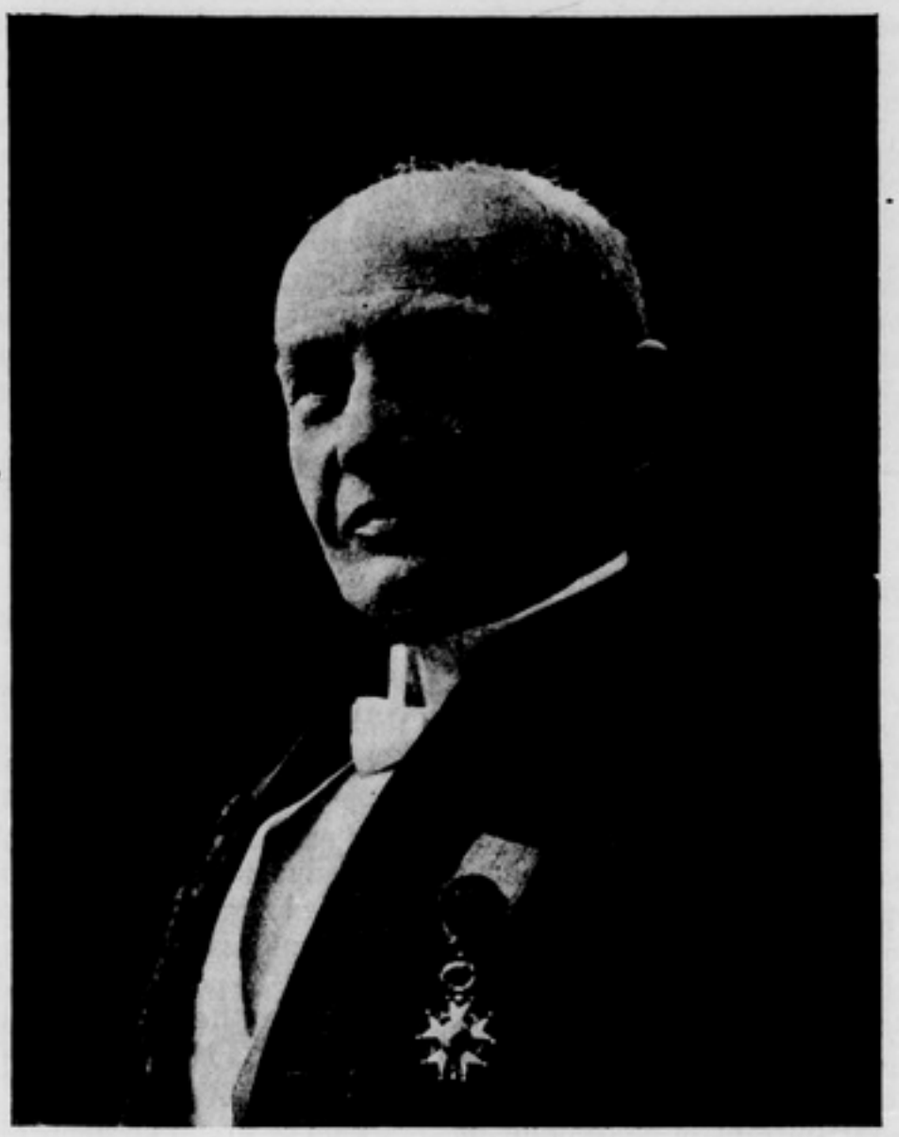
(2) Voir à ce sujet *Revue générale de l'Electricité*, 25 janvier 1930, t xxvii, p. 128-140.

(3) Deux volumes, format 28 cm × 22 cm, de 452 et 504 pages, avec nombreuses figures, édité par The Niagara Falls Power Co, Niagara Falls, New-York (Etats-Unis). Sans indication de prix.

Auguste Rateau

MEMBRE DE L'INSTITUT

Ainsi que nous le signalions dans notre numéro du 25 janvier (1), un nouveau deuil a frappé récemment la science et l'industrie françaises en la personne de M. Auguste Rateau, dont les obsèques eurent lieu le 16 janvier dernier à l'église réformée de l'Oratoire. Là furent prononcés des discours par M. Léon Guillet et M. P. Chaleil, qui ont rappelé, en même temps que ses nombreux travaux d'ordre scientifique et technique et son activité industrielle, ses qualités de cœur et d'esprit.



Auguste RATEAU
(1863-1930)

Né à Royan le 13 octobre 1863, Auguste Rateau entra en 1881 à l'Ecole polytechnique; il en sortait le premier de sa promotion. Ingénieur au Corps des Mines de l'Etat, il séjourna à Rodez en 1887 et 1888 et fut appelé à professer l'analyse, la mécanique et l'électricité industrielle à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne de 1888 à 1898. Il fut nommé professeur d'électricité industrielle à l'Ecole nationale supérieure des Mines de Paris et occupa ce poste de 1902 à 1910. A partir de cette époque, Rateau se consacra plus spécialement au développement technique et industriel de ses inventions, en particulier comme président du conseil d'administration de la Société Rateau, société anonyme fondée par lui et dont le siège social est à Paris.

Ses premiers travaux portent sur les rondelles Belleville, qui firent l'objet d'une publication dans les « Annales des Mines » en 1890. S'attachant ensuite à l'étude de la mécanique des fluides et à ses applications aux machines, turbines et ventilateurs, pompes et compresseurs, il contribua largement au développement de cette technique que l'on retrouve dans de nombreuses applications. Les progrès réalisés en particulier dans la construction des turbines hydrauliques, d'une part, et des turbines à vapeur, d'autre part, que l'on retrouve dans toutes les usines génératrices, sont dus en grande partie aux travaux de Rateau; nous ne mentionnerons, au point de vue des réalisations, que ses turbines utilisant la vapeur d'échappement à basse pression et au point de vue théorique, les lois de similitude couramment appliquées dans le calcul des turbines. Ses mémoires relatifs aux trompes, à la théorie des hélices propulsives, aux anémomètres et au tube de Pitot, aux éjecto-condenseurs, à l'écoulement de la vapeur d'eau par des tuyères et des orifices, aux freins hydrauliques, et ses interventions relatives à l'aérodynamique en 1912, sont les témoins de ses préoccupations scientifiques et industrielles. Dans toutes les questions dont il aborde l'étude, Rateau sait adapter ses solides connaissances mathématiques aux conditions physiques des réalisations et montre ainsi le parti que l'on peut tirer dans les applications techniques des considérations scientifiques; il laisse en effet non seulement des principes et des lois, mais encore des modèles de machines et d'appareils qui sont la conséquence, établie par lui-même, de ses conceptions théoriques.

Après avoir été lauréat à deux reprises, en 1899 et en 1911, de l'Académie des Sciences, il en fut nommé membre en 1918, aussitôt que fut créée la division des Applications de la Science à l'Industrie. Commandeur de la Légion d'Honneur, Rateau était titulaire, pour l'ensemble de ses travaux des plus hautes distinctions décernées par les associations techniques françaises et étrangères; un certain nombre d'universités, étrangères également, tinrent à cœur de reconnaître l'importance de ses recherches en lui décernant le grade de docteur honoris causa.

A cette ardeur au travail, dont nous venons de rappeler quelques résultats, M. Rateau savait joindre des qualités de cœur qu'ont pu apprécier tous ceux qui l'ont approché : accessible pour tous, il secondait tous les efforts de ses collaborateurs et de ceux qui lui

(1) *Bulletin R. G. E.*, 25 janvier 1930, t. XXVII, p. 28 B.

demandaient quelque conseil; il ne faisait aucune différence entre les diverses formes de l'activité humaine, intellectuelle ou manuelle. Aussi, nombreux sont ceux qui ont été frappés de son départ subit et qui s'associent à la peine éprouvée par sa famille. Nous nous joignons à tous ceux qui déplorent ce deuil pour présenter à sa famille nos respectueuses condoléances. — A. C.

Bibliographie : Les méthodes nouvelles en analyse quantique (Mécanique quantique. Mecanique ondulatoire), par Julien Pacotte (1). — Les lecteurs désireux de se tenir au courant des derniers progrès réalisés dans le domaine de la physique mathématique liront avec intérêt le livre de M. J. Pacotte, qui est un essai de synthèse des nombreux mémoires publiés dans la période 1925-1928. L'ouvrage est divisé en deux parties; la première s'occupe des origines des théories; la seconde est un exposé des développements ultérieurs des idées nouvelles, dans le sens de la relativité et de la statistique.

Le premier chapitre est une sorte d'introduction. Il déshabitue l'esprit de voir les principes quantiques à travers la théorie des trajectoires stationnaires. La quantification de Bohr est présentée, dans l'exposé des principes, comme une théorie possible à côté des autres, les mécaniques de Heisenberg et de Schrödinger. L'auteur n'a pas hésité d'indiquer, en passant, à propos des principes, quelques traits caractéristiques des théories nouvelles pour mieux faire saisir la généralité des principes et, aussi, pour préparer à l'étude particulière de ces théories. Le second chapitre conduit depuis les postulats de la mécanique jusqu'aux essais d'interprétation fonctionnelle. Après un examen des tentatives de Lanczos, puis de Born et de Wiener, l'auteur s'étend sur la mécanique de Schrödinger et la compare à celle de Heisenberg.

On trouvera, dans le troisième chapitre, la genèse des recherches de L. de Broglie concernant la dynamique du point matériel. Ce savant dérive toute sa théorie de trois postulats qui, sous forme concise, peuvent s'énoncer de la manière suivante : 1° l'énergie existe seulement à l'état de centres; 2° autour de tout système de centres, il y a un milieu et des ondes périodiques; la fréquence de ces ondes est partout la même; 3° la fréquence des ondes est supposée réglée par la relation habituelle du quantum; l'énergie figurant dans la relation est celle du système mécanique.

Les théories concernant la conception originale de Schrödinger sont l'objet du quatrième chapitre. On a déjà, au chapitre II, examiné la correspondance (Schrödinger et Pauli) entre la mécanique ondulatoire et la mécanique de Heisenberg; on a montré comment la mécanique de ce dernier peut conduire à celle des premiers; inversement, l'auteur indique ici comment la considération des équations de Schrödinger peut suggérer la dynamique de Heisenberg. Le cinquième chapitre est une esquisse de la théorie des perturbations quantiques, du point de vue de la mécanique d'Heisenberg et d'après Born, Heisenberg et Jordan. On retrouve ici des résultats autrefois obtenus par les méthodes de Bohr, entre autres la quantification de l'axe d'impulsion, le principe de sélection et les formules concernant l'intensité des composantes dans l'effet Zeeman complexe. La théorie de la diffusion de la radiation par un vibrateur avait suggéré la mécanique quantique, mais on n'était pas certain d'obtenir par la mécanique quantique, les mêmes résultats; en fait, on a retrouvé également, pour la diffusion, les formules anciennes. Le sixième chapitre traite, simplement comme applications, du vibrateur harmonique et de l'atome d'hydrogène.

Dans la seconde partie, l'auteur étudie, avant tout, deux directions importantes et, à certains égards, opposées des recherches qui ont suivi l'apparition des premiers mémoires de Schrödinger : l'adaptation de la physique ondulatoire à la physique relativiste et la conception statistique de la mécanique quantique. Elle ne comprend que deux chapitres. Le premier est consacré à l'équation des ondes dans l'espace de Minkowski, à l'espace gravitationnel d'Einstein et à l'espace à 5 dimensions de Kaluza. On y expose les raisonnements par lesquels Gordon a pu établir l'expression du courant fictif associé aux ondes et, finalement, l'électrodynamique est présentée sous une forme analogue à celle proposée par Mie pour l'électrodynamique classique et ses généralisations. Le second chapitre débute par une théorie abstraite des transformations canoniques où les grandeurs quantiques apparaissent comme des tenseurs de l'espace fonctionnel de Hilbert, à un nombre infini de dimensions. L'interprétation statistique de ces tenseurs indiquée simultanément par Dirac et Jordan, a doublé la portée des méthodes nouvelles; elle est précédée, dans ce dernier chapitre, des théories statistiques diverses qui l'ont préparée. — B. C.

(1) Un volume, format 25 cm × 16,5 cm, de 140 pages, édité par la librairie scientifique Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris (6e). Prix : broché, 22 fr.

Bibliographie : A la conquête des ondes. La T. S. F., par Paul Brenot (1). — Cet ouvrage, préfacé par le général Ferrié, constitue un exposé clair et complet de vulgarisation de la radioélectricité.

L'auteur nous montre l'importance de cette science dont les progrès rapides ont produit la radiodiffusion, la télévision et le télécinématographe. L'évolution de la radiotechnique n'est qu'un des éléments de l'évolution de la physique générale, aidée par tous les appareils et tous les procédés que des milliers de techniciens, en tous pays, ont peu à peu créés pour cette technique nouvelle. Les applications croissantes des nouvelles théories aux recherches biologiques et à la médecine ont fini par intéresser profondément le grand public.

Mais ce grand public est encore peu initié à la radiodiffusion; pour lui les conditions essentielles de son action et de son application pratique demeurent vouées à l'hermétisme.

Au cours de son exposé d'une remarquable clarté, l'auteur a écarté systématiquement toute technicité excessive et a limité son but à éclairer les esprits désireux de comprendre et de mesurer les progrès accomplis dans un rayon déterminé. La première partie s'efforce d'expliquer les phénomènes généraux employés dans les radiocommunications. Dans la seconde partie l'auteur retrace à grands traits les étapes de la radioélectricité avec Ampère, Maxwell, Hertz, Branly, Marconi, puis de la téléphonie sans fil à la transmission des images, à la télévision et aux films parlants. Enfin, le dernier chapitre ouvre le champ aux plus brillantes anticipations. — I. F.

(1) Un volume, format 20 cm × 15 cm, de 145 pages, avec 9 figures dans le texte édité par la librairie Plon, 8, rue Garancière, à Paris (6e). Prix : broché, 6 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent

Les nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs dont il est question dans cet article résultent d'une judicieuse combinaison de redresseurs de courant et d'instruments de mesure ne fonctionnant qu'en courant continu ou redressé. L'auteur rappelle d'abord les avantages que présentent, au point de vue de la précision, les galvanomètres à cadre mobile et à aimant permanent, pour les mesures en courant continu, sur les instruments de mesure en courant alternatif, d'où découle l'intérêt du redressement du courant qui permet l'emploi de ces galvanomètres en courant alternatif. Encore importait-il de trouver un di positif de redressement d'usage facile, d'une part, et, d'autre part, de fonctionnement assez précis pour que les lectures des indications de l'appareil de mesure ne soient pas faussées du fait de la présence de ce dispositif. Le redresseur à oxyde de cuivre et cuivre semble devoir satisfaire aux conditions imposées. Après avoir rappelé le mécanisme des contacts rectifiants et les caractéristiques de ce redresseur à oxyde de cuivre et cuivre, l'auteur détermine les relations entre les valeurs moyennes du courant redressé, les valeurs efficaces du courant alternatif et les indications du galvanomètre suivant les diverses dispositions pratiques qui peuvent être envisagées. Il donne à la fin de l'article quelques résultats d'expériences faisant ressortir l'influence des harmoniques, de la fréquence et de la température sur les résultats théoriques établis au début.

I. **Considérations générales.** — On sait que la mesure pratique des faibles courants et tensions est plus malaisée en courant alternatif qu'en courant continu. Lorsqu'on veut atteindre de grandes sensibilités on se heurte à des difficultés presque insurmontables tenant à la nature même des appareils employés et aux différents phénomènes qui entrent en jeu en courant alternatif. Un appareil de mesure électrique (sauf les appareils thermiques) est agencé de telle sorte que la grandeur électrique qu'il s'agit d'évaluer donne lieu à un système de forces auxquelles on oppose un couple mécanique sur lequel on agit de façon à conserver aux organes fixe et mobile une même position relative. Plus fréquemment on laisse ce dernier se déplacer librement jusqu'au repos.

D'une façon tout à fait générale, on peut dire que le système de forces résulte de l'action d'un champ sur une quantité d'électricité au repos ou en mouvement, Cette définition englobe presque tous les appareils existants, sauf les appareils thermiques (appareils à cadre mobile et aimants, électrodynamiques, électromagnétiques, appareils à induction, électromètres, etc.). On peut évidemment augmenter l'importance de l'une des grandeurs en présence par rapport à l'autre, et s'il est possible d'emprunter l'énergie nécessaire pour la produire à une source étrangère à celle de la mesure, on pourra obtenir de grandes sensibilités avec une faible consommation. Ce principe est facile à réaliser en courant continu, le champ magnétique pouvant être produit par un électroaimant ou, suivant un procédé fréquemment employé, par un aimant permanent. L'énergie empruntée à la source de mesure se réduit à celle consommée dans le cadre mobile.

En courant alternatif, pour des fréquences industrielles, le procédé n'est pas applicable (sauf pour les oscillographes), l'inertie de la partie mobile ne permettant pas à celle-ci de suivre les oscillations du courant. Si on utilise des actions électromagnétiques ou électrodynamiques, par exemple, la source d'énergie doit alimenter les deux parties, fixe et mobile, cette dernière étant alors soumise à un couple périodique de même sens dont la valeur moyenne est équilibrée par le couple mécanique antagoniste.

La chute de tension dans un ampèremètre thermique est de 0,1 à 0,5 v environ et le courant de 0,1 à 0,3 A pour les voltmètres. Ces consommations sont sensiblement du même ordre pour les autres appareils à courant alternatif, sauf pour les électromètres dont la consommation est infime, mais qui ne fonctionnent que sous une tension élevée. Avec un ampèremètre à courant continu (millivoltmètre monté sur shunt) la chute de tension est de l'ordre de 0,03 à 0,15 v pour des courants maxima de 0,001 à 0,05 A. On construit couramment des voltmètres ayant un couple satisfaisant avec une résistance de 100 à 2000 ohms par volt. Comme on le voit, la consommation totale d'un appareil à courant continu peut être 50 à 100 fois plus faible qu'un appareil à courant alternatif correspondant. Pratiquement, il est difficile d'effectuer avec ce dernier des mesures de tensions inférieures à 5 v et des mesures de courant inférieures à 0,1 A.

Avec les couples thermoélectriques, ces limites

peuvent être abaissées, précisément parce qu'ils fonctionnent avec des galvanomètres à courant continu ; mais ces appareils, indispensables lorsqu'il s'agit de mesurer des courants à haute fréquence, de forme quelconque, ne présentent pas les qualités de constance d'étalonnage et de robustesse exigées d'un véritable appareil industriel. De plus, ils ont une certaine inertie au point de vue thermique ne permettant pas de suivre les variations rapides de courant.

Le nouveau type d'appareil décrit dans cet article comporte en principe un redresseur de courant associé à un galvanomètre du type connu à cadre mobile et aimant permanent. L'idée de mesurer les courants alternatifs redressés n'avait pu, jusqu'à présent, être mise en pratique ; les redresseurs mécaniques exigent en effet un synchronisme difficile à obtenir et les redresseurs statiques en usage ont une résistance élevée et présentent une instabilité de contact, d'où des variations intempestives de résistance ne permettant pas de garantir l'étalonnage avec le temps et selon les différentes conditions d'emploi. Le nouveau type de redresseur à oxyde de cuivre et cuivre, le redresseur « intégral », qui a toutes les qualités de stabilité et de robustesse requises, constitue un moyen de résoudre le problème d'une façon satisfaisante. Nous avons effectué des études au laboratoire des Etablissements Chauvin et Arnoux en vue de la détermination des meilleures conditions de fonctionnement de ces redresseurs associés à des voltmètres et ampèremètres. Il est possible avec ces appareils d'effectuer des mesures en courant alternatif dans les mêmes conditions qu'en courant continu, avec des sensibilités et des consommations comparables.

II. **Description du redresseur « intégral ».** — La partie active de ce redresseur est constituée par un disque de cuivre, oxydé sur l'une de ses faces (fig. 1). Cette oxydation est obtenue par le chauffage à 1 000°C

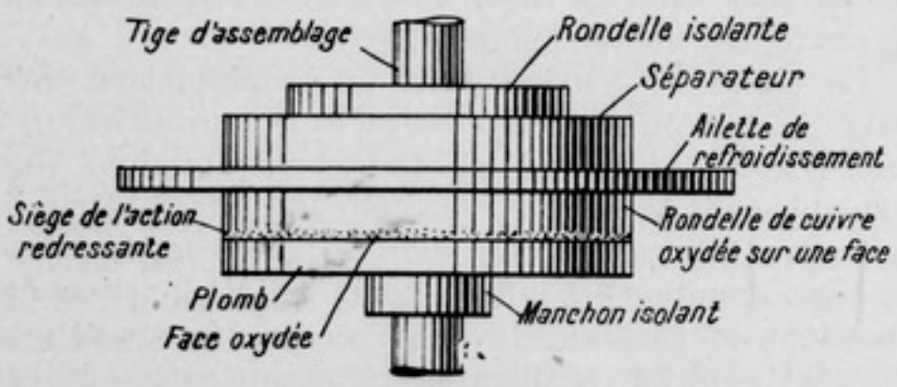


Fig. 1. — Vue schématique du redresseur à oxyde de cuivre et cuivre.

environ. On obtient de l'oxyde cuivrique et de l'oxyde cuivreux, ce dernier étant seul stable à haute température. La couche superficielle d'oxyde cuivrique est enlevée mécaniquement. Un redresseur élémentaire comporte un certain nombre de disques empilés sur une tige filetée avec rondelles terminales et écrous de bloquage. Des rondelles de plomb sont interposées du côté de la face oxydée, afin d'assurer une bonne conductibilité électrique. Le nombre des disques de cuivre dépend de la tension et du courant définissant le régime que l'on veut obtenir; ces redresseurs peuvent être associés en série ou en parallèle comme des piles. Ils ne comportent aucun élément exigeant de la surveillance ; l'aspect extérieur du redresseur intégral est celui d'un boulon et sa constitution mécanique lui assure une très grande solidité.

III. **Fonctionnement du redresseur à oxyde de cuivre et cuivre.** — 1. Résultats expérimentaux. — Le redressement provient de la différence de résistance selon le sens du passage du courant, du cuivre à l'oxyde de cuivre ou de l'oxyde de cuivre. Si l'on fait passer dans un élément formé de disques de 37 mm de diamètre environ un courant de 1 A, par exemple, dans le sens de l'oxyde de cuivre au cuivre pour une tension appliquée de 2 V, ce courant sera de 0,001 A dans le sens inverse sous la même tension, et le coefficient de redressement, soit le rapport des deux résistances, de 1 000 environ.

Le courant de fuite se traduit par une augmentation de 1 pour 100 environ de la puissance alternative qui produit le courant de 1 A.

La figure 2 montre la relation entre les résistances dans l'un et l'autre sens et la différence de potentiel appliquée. Lorsque cette différence de potentiel augmente, la faible résistance (courbe 1) décroît rapidement, puis plus lentement suivant une allure sensiblement hyperbolique. Pour une tension de sens inverse, la grande résistance s'élève, atteint un maximum, puis décroît (courbe 2). Le coefficient de redressement (courbe 3) croît jusqu'à des valeurs supérieures à celles de la marge d'utilisation, car, pour les emplois courants, la tension dans le sens de la grande résistance est telle que le redresseur travaille au delà du maximum de la courbe représentant la grande résistance en fonction de la tension. Le coefficient de redressement est relié au rendement par une relation compliquée du fait que la tension aux bornes du redresseur varie de zéro à un maximum qui diffère suivant le sens du passage du courant.

2. Considérations théoriques générales. — Le rôle du redresseur est de favoriser le passage du courant électrique dans un sens par rapport au sens contraire. La caractéristique du redresseur représentant la relation entre la différence de potentiel appliquée et le courant doit être par conséquent différente d'une droite. Soit $i = f(u)$ la relation entre le courant et la tension dans le cas d'un redresseur solide et O un point de fonctionnement sur la caractéristique représentant cette relation. Des oscillations d'amplitude Δu de la tension engendreront dans les deux sens des courants Δi et Δi_1. L'effet rectificateur est proportionnel à

$$\frac{\Delta i - \Delta i_1}{2\,\Delta u} = \frac{\Delta u^2}{2} \times \frac{\Delta i - \Delta i_1}{\Delta u^2},$$

c'est-à-dire à la dérivée seconde de i par rapport à u et sera d'autant plus parfait que le rayon de courbure au point de fonctionnement est plus petit.

Si on développe la fonction $i = f(u)$ en série de Taylor au voisinage d'un point i_0, u_0, la tension étant supposée périodique, on trouve

$$i_0 + \Delta i = f(u_0 + \Delta u \sin \omega t) = f(u_0) + \frac{\Delta u \sin \omega t}{1} f'(u_0) + \ldots$$

$$+ \frac{\Delta u^{n+1}}{(n+1)!} \sin^{n+1} \omega t \, f^{n+1}(u_0 + \theta \Delta u \sin \omega t),$$

θ étant un nombre compris entre 0 et 1.

Un galvanomètre placé en série avec le redresseur donne une déviation proportionnelle au courant moyen

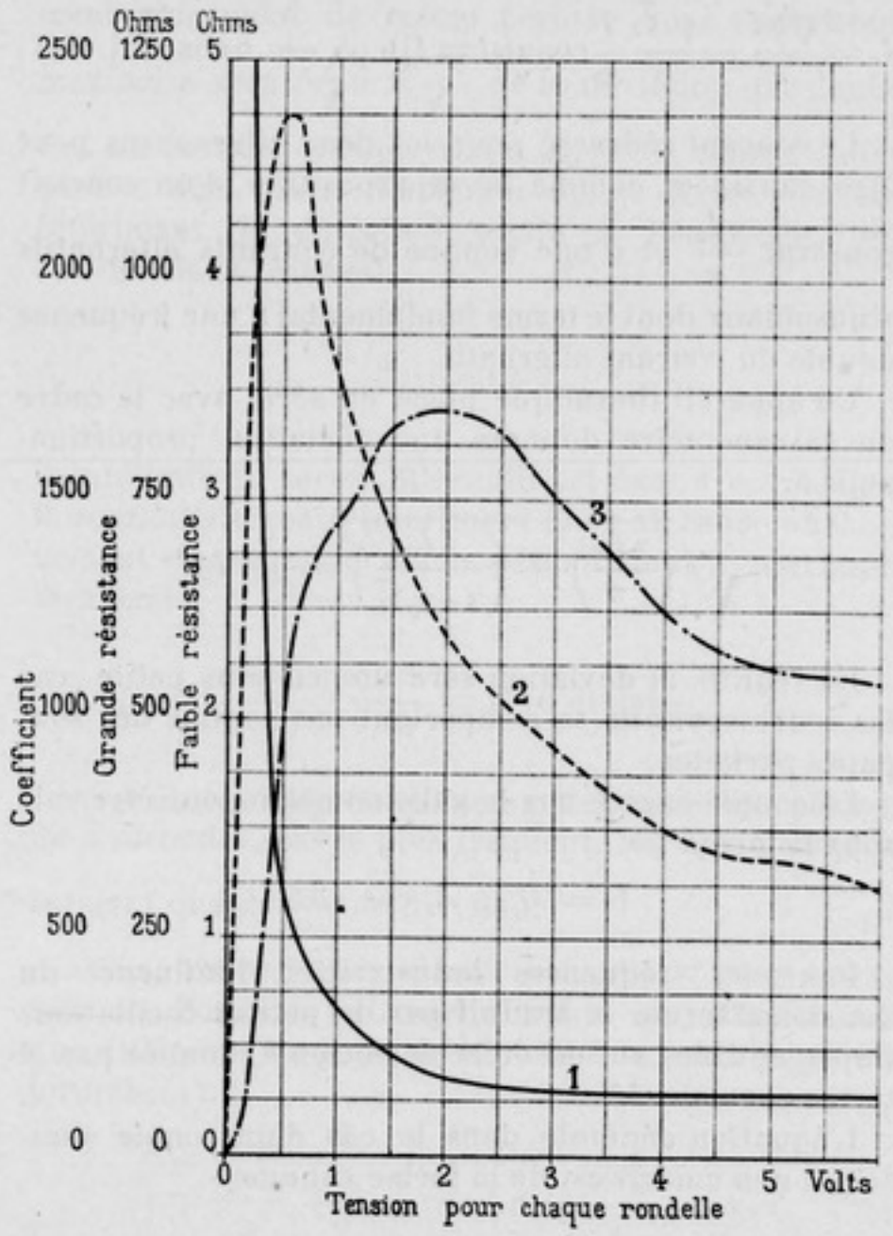


Fig. 2. — Courbes des variations en fonction de la différence de potentiel : 1, de la plus faible résistance ; 2, de la plus grande résistance ; 3, du coefficient de redressement.

qui le traverse ; celui-ci, d'après ce qui précède, est une fonction paire de l'amplitude de la variation de la tension. Un voltmètre à redresseur destiné à la mesure de très petites tensions, de même qu'un milliampèremètre monté sur shunt, auront une graduation suivant sensiblement la loi du carré, c'est à-dire resserrée au début de l'échelle.

Au contraire, un ampèremètre intercalé directement sur une ligne ou un voltmètre comportant une résistance non inductive élevée vis à-vis de la résistance moyenne du redresseur auront des échelles sensiblement proportionnelles aux grandeurs mesurées.

IV. **Relation entre le courant et la force électromotrice appliquée déduite approximativement des données expérimentales.** — Les caractéristiques relevées expérimentalement avec différents redresseurs d'apparences identiques présentent des différences, mais conservent une même allure dans leurs grandes lignes. L'expression du courant étant une fonction continue croissante de la force électromotrice peut être développée en série entière de u,

$$I = au + bu^2 + \ldots zu^n.$$

Pour les valeurs de u situées dans la région d'utilisation, on peut limiter le polynôme aux premiers termes.

La partie négative de la caractéristique étant très inclinée sur l'axe des abscisses pourrait en première approximation être représentée par une branche de parabole ou, plus simplement, par une droite. On aurait donc pour un sens du courant

$$i = au + bu^2 \qquad (1)$$

et pour l'autre sens

$$i = au - b'u^2,$$

a, b et b' étant des constantes positives.

L'ordre de grandeur des coefficients a et b de la courbe caractéristique expérimentale représentant $i = au + bu^2$ peut se déterminer facilement. La résistance limite R_1 du redresseur lorsque u tend vers zéro est

$$R_1 = \frac{u}{i} = \frac{1}{a} = 20 \text{ ohms environ},$$

pour un redresseur d'un type courant.

Pour u compris entre 3 et 4 v le rapport $\frac{u}{i}$ est égal à 0,30 ohm environ, d'où

$$1 = a\frac{u}{i} + b\frac{u}{i}u = 0{,}05 \times 0{,}30 + b \times 0{,}30 \times 4;$$

on a donc approximativement

$$i = 0{,}05\,u + 0{,}82\,u^2.$$

Supposons la force électromotrice appliquée aux bornes d'un redresseur sinusoïdale, soit

$$u = U_m \sin \omega t \quad \text{et} \quad i = au + bu^2 + \ldots$$

pour le courant correspondant ; l'intensité moyenne du courant durant une période a pour valeur

$$I_{moy} = \frac{1}{T}\int_0^T f(u)\,dt = \frac{aU_m}{T}\int_0^T \sin \omega t\,dt$$

$$+ \frac{bU^2_m}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t\,dt + \ldots$$

$$I_{moy} = \frac{1}{2}bU^2_m + \frac{1}{2} \times \frac{3}{4}dU^4_m + \ldots \qquad (2)$$

V. **Redressement des deux alternances.** — Lorsqu'on redresse les deux alternances avec deux cellules montées avec transformateur à prise médiane (fig. 3) ou avec quatre cellules rectifiantes disposées en

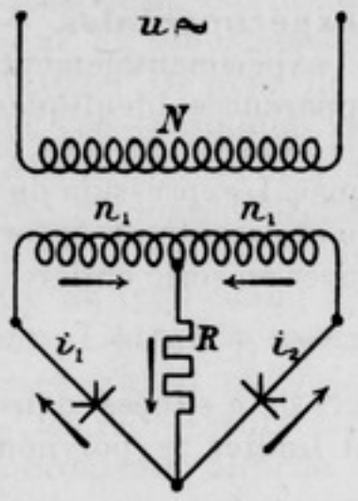


Fig. 3. — Schéma du montage de deux redresseurs avec prise médiane pour le redressement des deux alternances.

pont (fig. 4), on déterminera l'intensité moyenne du courant en évaluant la surface d'une onde pour une demi-période de laquelle on retranchera la surface correspondant au faible courant de fuite inverse; car les

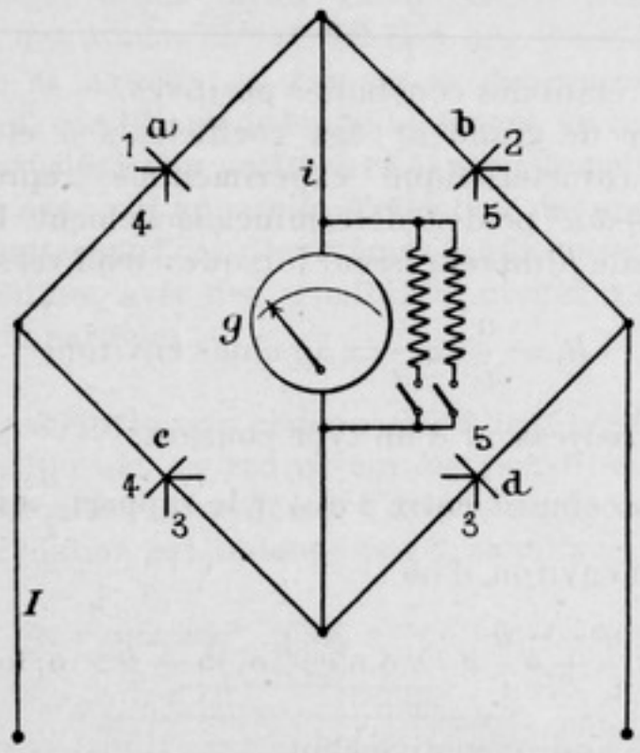


Fig. 4. — Schéma du montage en pont de quatre redresseurs pour le redressement des deux alternances, avec shunts aux bornes du galvanomètre.

éléments redresseurs offrent pour le sens opposé du courant une résistance relativement forte, mais non infinie. La caractéristique du courant en fonction de la tension pour un redresseur du type à oxyde métallique et métal est, pour le sens inverse, très sensiblement rectiligne et, par conséquent, le courant a la même forme que la tension. La déviation du galvanomètre, dans le cas du redressement de deux alternances pour un voltmètre ne comportant pas de résistance, sera sensiblement proportionnelle à

$$\frac{U_m}{2\pi}(4a + bU_m\pi) - \frac{2I_m}{\pi},$$

I_m étant le courant inverse maximum de fuite. Pour un régime normal ce courant est 500 à 1 000 fois plus petit que le courant direct et son action peut être négligée.

Le couple exercé sur le galvanomètre se compose d'une partie constante et d'une partie variable. Lorsque la fréquence est petite les oscillations imprimées à l'équipage autour de la position moyenne deviennent perceptibles.

1° *Cas de l'ampèremètre.* — Les deux alternances étant redressées, le courant est une fonction de fréquence fondamentale double de celle du courant alternatif.

En se bornant au terme moyen et fondamental de la série de Fourier on trouve pour l'intensité I_r du courant redressé

$$I_r = \frac{\sqrt{8}I}{\pi} - \frac{\sqrt{32}}{3}\frac{I}{\pi}\cos 2\omega t = I[0{,}95 - 0{,}6\cos 2\omega t]. \quad (3)$$

Le courant redressé pour les deux alternances peut être considéré comme la superposition d'un courant constant $\frac{2I_m}{\pi}$ et d'une somme de courants alternatifs sinusoïdaux dont le terme fondamental a une fréquence double du courant alternatif.

Un appareil thermique placé en série avec le cadre du galvanomètre donnera une déviation proportionnelle à

$$\sqrt{\left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{4I_m}{3\pi\sqrt{2}}\right)^2} = 0{,}7\,I_m.$$

En réalité, la déviation sera un peu plus petite, car les redresseurs ne se comportent pas comme des soupapes parfaites.

Le couple exercé sur le galvanomètre peut être mis sous la forme

$$C = M + A_1\cos 2\omega t.$$

Pour les fréquences industrielles, l'influence du deuxième terme se traduit par de petites oscillations imperceptibles autour de la déviation θ_0 donnée par le terme constant M.

L'équation générale dans le cas d'un couple sinusoïdal non amorti est de la forme connue

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + B\theta = a\sin(2\omega t + \varphi).$$

La solution particulière θ_1, est de la forme

$$\theta_1 = P\sin(2\omega t + \varphi - \varphi_1).$$

Dans le cas où la période T du couple est très petite devant la période propre T' de l'équipage mobile, l'amplitude P du mouvement est égale sensiblement à

$$\left(\frac{T}{T'}\right)\theta_0,$$

θ_0 étant la déviation permanente imprimée à l'équipage

mobile par un couple constant égal au maximum du couple alternatif, et l'on peut écrire

$$\theta_1 = \left(\frac{T}{T'}\right)\theta_0 \sin(2\omega t + \varphi).$$

Soit un équipage mobile ayant une période de 1 seconde, par exemple, soumis à une fréquence relativement basse de 10 p:s, soit 20 p:s pour le courant redressé, on a

$$\left(\frac{T}{T'}\right)^2 = \left(\frac{1}{20}\right)^2 = \frac{1}{400}.$$

Le terme alternatif imprimera au cadre un mouvement sinusoïdal de même période dont l'amplitude maximum sera égale à $\frac{1}{400}$ de la déviation que donnerait un courant continu égal à I_m. Si le courant alternatif a une valeur maximum I_m, le terme constant imprimant la déviation totale à l'équipage, soit 100 divisions, est égal

$$\frac{2I_m}{\pi} = 0{,}64\ I_m;$$

l'amplitude du terme alternatif est égal à $0{,}425\ I_m$ et le courant alternatif imprimera donc au cadre un mouvement sinusoïdal de même période dont le maximum sera égal à

$$\frac{100}{400} \times \frac{0{,}425}{0{,}64} = 0{,}16 \text{ division}.$$

Avec un équipage de galvanomètre ayant une période de 2 secondes, cas le plus fréquent, les oscillations ne seraient que de $\frac{4}{100}$ de division.

2° *Cas du voltmètre monté directement avec redresseur.* — Pour un redresseur monté en voltmètre sur une différence de potentiel sinusoïdale, on a d'après la formule (1)

$$i = \frac{bu^2_m}{2} + a u_m \cos\omega t + \frac{bu^2_m}{2}\cos 2\omega t. \qquad (4)$$

VI. **Redresseur monté en voltmètre avec une résistance en série : Calcul du courant moyen.** — 1. Cas d'une différence de potentiel sinusoïdale. — Soit un galvanomètre branché en série avec un redresseur et une résistance R aux bornes d'une source de force électromotrice e. Si u est la différence de potentiel aux bornes du redresseur on écrira, en reprenant la formule (1) résolue par rapport à u, la self-inductance du cadre étant négligeable devant la résistance totale,

$$E_m \sin\omega t - Ri = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + 4bi}}{2b},$$

d'où l'on tire

$$i = \frac{E_m}{R}\sin\omega t + \frac{1+Ra}{2bR^2} \pm \frac{1}{2R^2b}\sqrt{(1+Ra)^2 + 4RbE_m \sin\omega t}.$$

Le courant moyen est par conséquent égal à

$$I_{moy} = \frac{1+Ra}{2bR^2} + \sqrt{\frac{E_m}{bR^3}}\frac{1}{T}\int_0^T dt \sqrt{\frac{(1+Ra)^2}{4RbE_m} + \sin\omega t}. \qquad (5)$$

L'intégrale est une fonction elliptique. Pour la résoudre posons

$$\sqrt{K + \sin x} = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + \ldots, \qquad (6)$$

où

$$K = \frac{(1+Ra)^2}{4RbE_m}, \quad \omega t = x, \quad \omega T = 2\pi.$$

En prenant les dérivées

$$\frac{\cos x}{2\sqrt{K + \sin x}} = B + 2Cx + 3Dx^2 + 4Ex^3 + \ldots \qquad (7)$$

en multipliant (6) et (7) et en posant

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \ldots.$$

on obtient une série d'équations permettant de déterminer les coefficients A, B, C, D, etc; d'autre part, on a

$$\int \sqrt{K + \sin x}\, dx = Ax + \frac{Bx^2}{2} + \frac{Cx^3}{3} + \ldots.$$

On a donc finalement comme expression du courant moyen

$$I_{moy} = \frac{1+Ra}{2bR^2} + \omega\sqrt{\frac{E_m}{bR^3}}\left[\frac{1+Ra}{2\sqrt{RbE_m}} + \frac{\pi\sqrt{RbE_m}}{1+Ra} - \frac{4\pi^2}{3}\frac{\sqrt{(RbE_m)^3}}{(1+Ra)^3}\ldots\right]. \qquad (8)$$

2. Cas d'une force électromotrice complexe. — Pour une force électromotrice complexe, on aurait aux bornes du redresseur

$$u = C_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \ldots B_n \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

On trouve une relation reliant i aux différents termes à l'aide de la formule (1); le courant correspondant à une pulsation $n\omega$ est donné par une somme de termes d'amplitude et de phase différentes. Il n'y a pas proportionnalité d'amplitude, ni égalité de phase entre les harmoniques de même rang du courant redressé et de la force électromotrice appliquée, moins encore si l'on

a une émission modulée, c'est-à-dire une force électromotrice représentée par l'expression

$$u = [C_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2 \cdot t + \varphi_2) \ldots] \sin \Omega t.$$

Nous avons supposé jusqu'à présent que le redresseur en série avec l'appareil de mesure était connecté directement à la source. Si l'on intercale une résistance en série, la caractéristique ne conserve son allure parabolique que pour les très faibles tensions à partir de l'origine. La déformation apportée devient de plus en plus petite à mesure que la résistance considérée est plus élevée par rapport à la résistance du redresseur. Un redresseur dont la caractéristique serait constituée par des lignes droites n'apporterait aucune déformation au courant.

Un cas qui se présente souvent en télégraphie sans fil est celui où le courant dans le redresseur est déterminé par deux sources produisant respectivement des oscillations Δu et Δv de pulsations très voisines, à partir de u_0, et engendrant une variation de courant Δi.

Le courant redressé est proportionnel à la valeur moyenne de $(\Delta u + \Delta v)^2$. Les valeurs moyennes de Δu^2 et Δv^2 donnent un courant constant. Quant au produit $2\Delta u \Delta v$ il peut se mettre sous la forme

$$2M \cos \omega t \times N \cos[(\omega + \varepsilon) t - \varphi] = MN \cos[(2\omega + \varepsilon) t - \varphi] + \cos(\varepsilon t + \varphi),$$

M et N étant les amplitudes des deux oscillations.

La valeur moyenne du premier terme, oscillation à fréquence élevée, est nulle.

Le second terme représente une oscillation dont la fréquence est égale à la différence des fréquences des deux sources.

VII. **Considérations sur les phénomènes intimes donnant lieu à une résistance rectifiante.** — On ne peut encore expliquer d'une façon rigoureuse les conditions de fonctionnement d'un redresseur à oxyde métallique et métal; mais toutes les expériences permettent de conclure que ce fonctionnement est différent de celui d'un redresseur par contact ou électrolytique. Le redresseur électrolytique demande un certain temps pour parvenir à sa stabilité de régime. Les courants redressés sont instables et sujets à des variations brusques. Les effets de l'électrolyse apparaissent à la surface des électrodes. Le redresseur à oxyde métallique et métal ne présente aucun de ces défauts. Il se stabilise immédiatement et ne montre aucun signe de changement dans son état physique et chimique, même après un fonctionnement de longue durée en régime continu aux températures normales de marche. Le courant est stable et indique une résistance bien définie pour chaque valeur de la tension appliquée.

La couche d'oxyde sur le cuivre peut avoir une épaisseur très faible (0,025 mm) environ. L'hypothèse d'une action thermoélectrique nécessitant le maintien d'une différence de température entre deux surfaces conductrices aussi rapprochées est peu plausible. Il est à remarquer par ailleurs que la force électromotrice dans un couple thermoélectrique serait de sens inverse de celle constatée.

Si l'on considère deux conducteurs mis en contact et présentant une différence de potentiel, il se produira un effet électrostatique sur les électrons qui se trouvent sur les surfaces en contact, l'épaisseur de la couche d'électrons tendant à augmenter sur l'élément négatif et à diminuer sur l'élément positif. Pour un intervalle extrêmement petit, les couches externes s'entrepénètrent et le courant peut s'établir. Ce courant sera le même dans les deux sens pour deux conducteurs semblables (caractéristique rectiligne passant par l'origine). Lorsque le contact entre conducteurs inégalement chargés d'électrons est imparfait, le courant ne suit pas la loi d'Ohm et la caractéristique a sensiblement l'allure d'une parabole.

Le courant tend à s'établir du conducteur le moins chargé au conducteur le plus chargé en électrons libres. Avec les oxydes et sulfures métalliques, tout se passe comme s'ils contenaient moins d'électrons libres que les métaux. Ces considérations se vérifient avec le redresseur de cuivre et oxyde de cuivre dont le sens du courant est bien celui de l'oxyde au métal. On peut admettre que la ligne de démarcation entre l'oxydule et le cuivre n'est pas absolument tranchée par suite des conditions de température et de refroidissement auxquelles la couche d'oxyde a été soumise au moment de sa formation sur le cuivre porté à haute température. Cette hétérogénéité joue probablement le même rôle que la pellicule isolante entre deux conducteurs en contact. On a pu constater dans certains cas que des isolants peuvent laisser passer des électrons s'ils contiennent de petites parcelles conductrices susceptibles d'émettre des électrons. Si la densité de ces parcelles conductrices n'est pas homogène dans une direction, il en sera de même pour la densité des électrons, d'où il résulte une conductibilité unilatérale. Les phénomènes sont comparables à ceux qui se passent dans une lampe valve à vide, la petitesse extrême de l'intervalle permettant le fonctionnement à froid, alors que dans une valve il est nécessaire d'activer l'émission électronique en échauffant le filament.

Dans cette image, le cuivre peut être assimilé au filament, la surface de séparation du cuivre et de l'oxyde, à l'espace libre de la lampe et la couche d'oxyde, à l'anode. La nature de la surface de séparation permet au cuivre d'émettre des électrons libres à la température ordinaire lorsque le potentiel de l'oxyde est supérieur à celui du cuivre. Un courant électrique peut alors circuler de l'oxyde vers le cuivre. Lorsqu'on inverse la différence de potentiel, il n'y aura par conséquent aucune émission électronique et par suite aucun courant électrique correspondant dans le sens du cuivre vers l'oxyde. En réalité, on observe un très petit courant inverse résultant d'une très faible émission d'électrons libres émanés de l'oxyde. Ce courant tend à

augmenter avec la température comme on le constate expérimentalement, l'oxyde dans ces conditions tendant à émettreun plus grand nombre d'électrons libres.

On conçoit que si le redresseur est utilisé entre des limites bien définies entre lesquelles il ne se produit aucune altération des éléments, ses caractéristiques resteront toujours comparables à elles-mêmes.

On a vu que la caractéristique du courant en fonction de la tension peut être représentée entre métal et composés métalliques conducteurs par une courbe d'allure parabolique. On peut supposer qu'à l'émission électronique pure déterminant la conductibilité se superposent des phénomènes d'ionisation, dans le petit intervalle de contact. Si u est la différence de potentiel appliquée et δ, la densité cubique de charge électrique, on a

$$\frac{d^2u}{dx^2} = -4\pi\delta;$$

d'autre part, si v est la vitesse des électrons,

$$i = \delta v \quad \text{et} \quad v = K\frac{du}{dx}.$$

On tire de là, en remarquant que pour

$$v = 0, \quad \frac{du}{dx} = 0$$

$$U = K'\sqrt{i}.$$

A ce courant s'ajoute celui qui suit la loi d'Ohm et le courant total I est

$$I = i + \frac{U}{r} = au + bu^2.$$

On retrouve bien l'expression approchée (1) définissant la caractéristique relevée expérimentalement sur un redresseur pour le sens du courant correspondant à la faible résistance.

VIII. **Redresseurs associés à un galvanomètre : mesure des tensions et des courants.** — 1. Dispositions générales. — Pour redresser les deux alternances on peut employer le montage avec prise médiane au secondaire d'un transformateur (fig. 3) ou le montage en pont (fig. 4 et 5) ; cette dernière disposition est préférable pour les redresseurs associés à un appareil de mesure électrique ; les disques redresseurs ont, dans ce cas, un diamètre de 20 mm environ. Ils sont assemblés en pile et les connexions réalisées suivant le schéma indiqué sur les figures 5 et 6. Les quatre unités redressantes sont munies d'ailettes de refroidissement servant en même temps d'amenées de courant. L'épaisseur de l'ensemble ne dépasse pas 20 mm. Des rondelles élastiques maîtresses serrées par écrous et contre-écrous assurent un serrage énergique aux deux extrémités.

La tension et le courant maxima que supportent ces redresseurs sont respectivement 4 v et 0,1 a environ. Dans ces conditions, l'échauffement déterminé par le passage du courant n'atteint pas 10°C au-dessus de la température ambiante. La résistance des bras du pont correspondant au courant inverse étant très grande

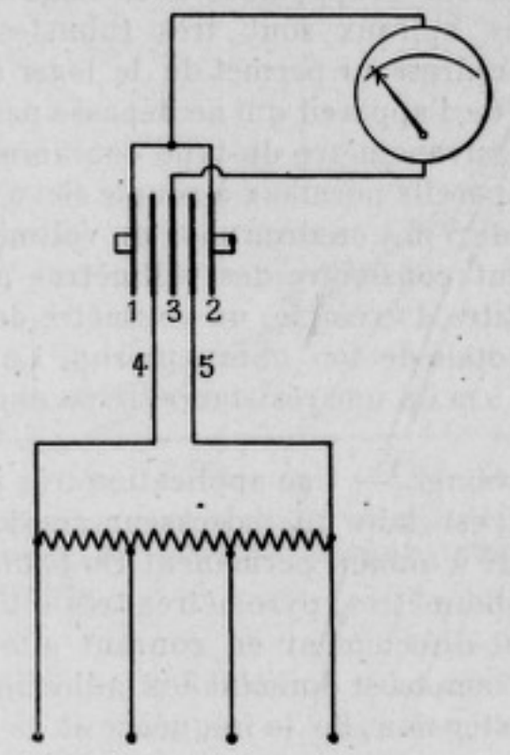


Fig. 5. — Schéma du montage de quatre redresseurs pour le redressement des deux alternances avec réducteur.

relativement à celle des bras parcourus par le courant direct, la tension à laquelle est soumise une cellule est sensiblement égale à la tension d'alimentation qui ne doit pas, par conséquent, comme dans les cas d'un seul redresseur, dépasser 4 v. On étend le domaine des mesures dans de très grandes proportions par l'emploi

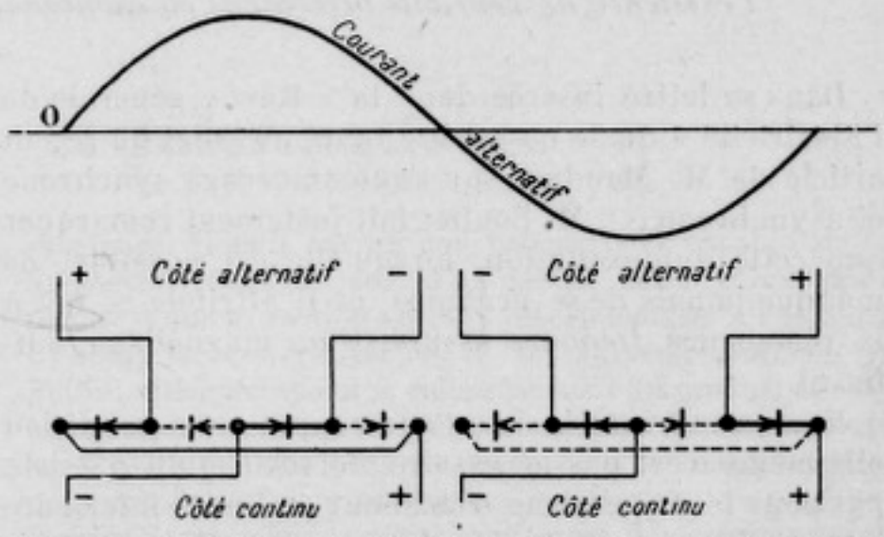


Fig. 6. — Schéma des circuits parcourus par le courant redressé dans le dispositif représenté sur la figure 5.

de résistances en série et en dérivation. On pourrait aussi utiliser directement plusieurs unités associées en série ou en parallèle ; mais le cas se présente rarement pour les mesures électriques, où l'intérêt du redresseur est précisément de pouvoir évaluer des courants et tensions très faibles.

Le redresseur possède une limite inférieure d'efficacité pour laquelle les courants les plus faibles suscep-

tibles d'être redressés sont de l'ordre de la sensibilité limite d'un galvanomètre à aimant permanent à deux pivots. Cet appareil suffit donc pour tous les cas, à savoir : mesure des courants, à partir de quelques dizaines de microampères, et des tensions, à partir de quelques dizièmes de volts. L'équipage est du type à double pivot sur crapaudines avec bagues d'amortissement. Les spiraux sont très robustes. Le faible volume du redresseur permet de le loger à l'intérieur du boîtier de l'appareil qui ne dépasse pas les dimensions d'un galvanomètre du type couramment utilisé. Pour les appareils normaux à couple élevé, la consommation est de 5 mA environ pour un voltmètre de 0,5 à 1 V. On peut construire des voltmètres consommant 500 μA. A titre d'exemple, un voltmètre de 1,5 V a une résistance totale de 300 ohms environ. Un milliampèremètre de 5 mA a une résistance de 60 ohms environ.

2. Quotienmètre. — Une application très intéressante est celle qui est faite du redresseur employé avec un quotienmètre à aimant permanent. On peut ainsi construire des ohmmètres, pyromètres très sensibles, etc., fonctionnant directement en courant alternatif, sous 110 V, par exemple, et donnant des indications indépendantes de la tension, de la fréquence et de la forme du courant.

3. Voltmètres. — Jusqu'à 30 V la résistance du redresseur, variable avec le courant, ne peut être négligée devant celle de la résistance en série et oblige à avoir autant d'échelles que de sensibilités (quatre échelles au maximum sur un même cadran). Pour les sensibilités supérieures à 30 V, la même échelle est utilisée pour toutes les sensibilités en courant alternatif et une autre échelle pour toutes les sensibilités en courant continu.

4. Ampèremètres. — Les ampèremètres s'établissent directement ou sur shunts sous 0,6 V. Les milliampèremètres sont également prévus pour fonctionner avec des shunts ; la tension aux bornes dépend des sensibilités demandées ; elle est par exemple de 0,6 V pour un milliampèremètre de 10 mA. On peut, à la place des shunts, employer des transformateurs de courant pour la mesure de courants de forte intensité.

En courant continu, on peut soit passer par le redresseur en utilisant les mêmes bornes et une polarité définie, soit mettre le redresseur hors circuit à l'aide d'une petite barrette.

(*A suivre*)

S. Held,
Chef du laboratoire
aux Etablissements Chauvin et Arnoux.

Remarques au sujet de l'autoamorçage

Reprenant une remarque formulée par M. Soulier dans ces colonnes (*), relative au magnétisme rémanent toujours assez important pour assurer l'autoamorçage, M. Darrieus se propose de montrer, dans la note qui suit, que le magnétisme rémanent n'est pas une nécessité ; seule l'existence de courants browniens ou spontanés suffit pour qu'il soit provoqué.

Dans sa lettre insérée dans la « Revue générale de l'Electricité » du 30 novembre 1929, au sujet du récent article de M. Mauduit sur l'autoamorçage synchrone et asynchrone (1), M. Soulier fait justement remarquer que cette autoexcitation, lorsqu'elle est possible, ne manque jamais de se produire, et il attribue ce fait à la rémanence toujours assurée d'un magnétisme suffisant.

Nous voudrions insister sur ce que cette condition elle-même n'est pas nécessaire, de sorte qu'il n'existe pas pour le magnétisme rémanent de limite inférieure à franchir pour provoquer la naissance du processus de croissance exponentielle du champ. Ce dernier ne manquera jamais de se produire, car l'état de repos ou de courants nuls dans un pareil système est aussi instable que l'équilibre, par exemple, d'une canne reposant par une pointe d'aiguille sur un plan d'agate. Les seules exceptions à cette règle concernent les machines à collecteur, notamment celles à courant continu dans lesquelles des tensions de contact aux balais jouent le rôle de frottements finis (1) (méplat de l'œuf de Christophe Colomb), qui peuvent exiger un minimum de perturbation initiale pour être surmontés.

N'y aurait-il donc que le champ magnétique terrestre pour assurer un certain magnétisme rémanent, ou même pas de fer du tout, ni de champ initial, ni d'inductions parasites, l'autoexcitation procèderait encore sûrement des courants irréguliers browniens ou spontanés que fait prévoir dans tout circuit, même homogène et en équilibre de température, la théorie cinétique, et que l'emploi d'un nombre suffisant d'étages d'amplification a permis dans ces dernières années de déceler expérimentalement.

Dans un circuit de self-inductance L, la valeur efficace de ces courants sera telle que l'énergie $\frac{1}{2} Li^2$

(*) A propos de l'autoamorçage synchrone et asynchrone. *Revue générale de l'Electricité*, 30 novembre 1929, t. XXVI, p. 858.

(1) A. Mauduit ; Considérations complémentaires de l'autoamorçage synchrone et asynchrone. *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 439-444.

(1) Ces phénomènes de paresse à l'amorçage ne se constatent d'ailleurs qu'avec des balais en charbon.

correspondante soit de l'ordre de l'énergie par degré de liberté $\frac{1}{2}kT$ d'une molécule à la température absolue T, soit

$$\frac{1}{2} \times \frac{8{,}31 \times 10^{7}}{6{,}06 \times 10^{23}} \times 300 = 2 \times 10^{-14} \text{ ergs},$$

ou 2×10^{-21} joules,

à la température ordinaire.

Si $L = 0{,}1$ henry, le courant brownien dû au mouvement incessant des électrons produit par l'agitation thermique sera

$$i = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 10^{-21}}{0{,}1}} = 2 \times 10^{-19} \text{ A}.$$

Supposons, d'autre part, que le moteur d'induction, fonctionnant en hypersynchronisme au glissement normal fournisse ainsi sa pleine puissance pour le courant normal, et que ce dernier vaille quatre fois par exemple le courant à vide, de sorte que la chute de tension inductive totale ωLI atteigne quatre fois la tension E

$$\frac{\omega LI}{E} = \frac{\omega LI^2}{EI} = 4,$$

d'où la durée θ de l'établissement du courant normal

$$\theta = \frac{LI^2}{EI} = \frac{4}{314} = 0{,}013 \text{ s (pour } f = 50 \text{ p : s}).$$

Or $LI^2 = \frac{1}{2} LI^2 + \frac{1}{2} CE^2$ représente par phase la totalité de l'énergie du système électrique, de sorte que dans la période initiale de croissance purement exponentielle (fig. 1) des courants, il suffira du temps ci-dessus pour faire croître l'énergie dans le rapport $e = 2{,}718$.

Le même rapport sera atteint pour les courants en

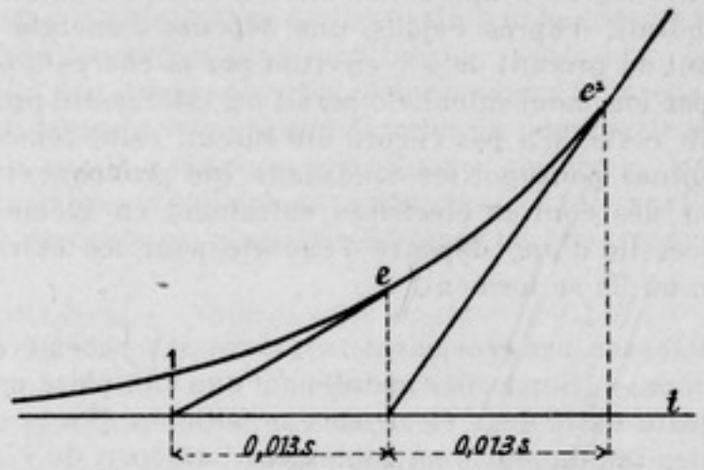


Fig. 1. — Courbe exponentielle représentant la loi de l'augmentation du carré du courant intervenant dans l'autoamorçage.

un temps double, de sorte que ceux-ci seront multipliés par e^2, ou près de 10, tous les vingtièmes de seconde.

Il suffira donc de moins d'une seconde, en partant même des plus petits courants, de l'ordre du dix millième de microampère, qu'admet la structure discontinue de l'électricité, pour atteindre la limite de régime imposée par la saturation.

G. Darrieus,
Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur à la Compagnie Electro-Mécanique.

Revues, analyses et informations

L'influence des conditions à la surface et des charges spatiales sur la conductivité des corps mauvais conducteurs (1)

1. Considérations sur les corps conducteurs et les isolants. — Un corps bon conducteur de l'électricité est celui qui contient un nombre suffisant de centres porteurs de charges (électrons ou ions) de mobilité suffisante. La nouvelle théorie quantique pourra nous dire quels groupes de corps satisfont, en dernière analyse, à ces conditions ; mais une réponse qualitative à cette question est déjà expérimentalement connue : on sait que les conducteurs électroniques sont principalement les métaux et un certain nombre de sels et que les conducteurs ioniques comprennent d'autres sels à l'état solide ou liquide et un grand nombre de solutions, siège de la dissociation électrolytique. On a traité de façon très approfondie les conditions dans lesquelles cette dissociation se produit et l'on n'y revient pas ici. Mais il ne suffit pas que des porteurs de charges se forment dans la substance, il faut encore que celle-ci soit capable de les conserver. Dans le cas d'un métal, cette conservation résulte d'une attraction entre le réseau ionique et l'électron. L'énergie de cette attraction a été estimée récemment par Bethe ; elle correspond à celle résultant du produit de 15 v environ par la charge d'un électron. Cette énergie est suffisante pour maintenir les électrons dans le métal, en dépit de la grande pression interne du « gaz électron », qui est due, d'après Sommerfeld, à l'état hautement dégénéré de ce gaz.

La résultante des deux, que l'on appelle souvent la « fonction travail » (travail nécessaire pour arracher un électron au métal), correspond encore à celle résultant du produit de 5 v par la charge d'un électron et elle est suffisante pour rendre négligeable la concentration d'équilibre des électrons autour du métal, aux températures ordinaires, puisqu'il a été montré que, pour une élévation du potentiel du métal de 1 v, la concentration d'équilibre se trouve multipliée par le facteur

$$e^{-\frac{Ve}{kT}} = 10^{-18},$$

(1) K.-F. Herzfeld. *The physical Review*, 1er septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 791-807, 5 000 mots, 2 figures.

En conséquence, si nous disposons parallèlement deux lames métalliques, l'intervalle qu'elles comprennent est isolant parce que la fonction travail empêche les électrons de quitter en nombre suffisant la lame négative pour passer sur la lame positive.

De même qu'un métal, une solution de chlorure de sodium est conductrice, parce que les ions qui s'y trouvent ne peuvent s'en évaporer; en effet, à cette évaporation correspondrait, d'après Fajans, une dépense d'énergie correspondant au produit de 3 v environ par la charge d'un électron par ion monovalent. Ce serait un intéressant problème, qui, du reste, n'a pas encore été résolu, celui consistant à déterminer pourquoi les conditions qui provoquent la formation des centres électrisés entraînent en même temps la nécessité d'une dépense d'énergie pour les extraire du milieu où ils se forment.

2. Passage des propriétés isolantes aux propriétés conductrices. — Supposons maintenant que l'on place un corps dit isolant entre deux électrodes métalliques. Ses propriétés isolantes impliquent, non seulement l'absence de véhicules des charges dans la substance, mais en outre l'impossibilité pour des centres électrisés de passer des électrodes à la substance. Si l'on considère, par exemple, comme centres électrisés les électrons et comme isolant le chlorure de sodium, les expériences de Gudden et Pohl ont montré que, si des électrons sont engendrés dans le sel par la lumière, ils peuvent s'y mouvoir librement, de sorte que la mobilité des électrons y serait suffisante pour qu'il soit conducteur.

Pour traiter la question complètement, il y a lieu d'examiner la répartition des potentiels aux surfaces de contact. Quand les électrons se présentent à la surface du cristal et du métal, ils peuvent entrer dans le métal sans rencontrer à la surface de contact d'obstacle prohibitif. Cela signifie que l'énergie potentielle des électrons dans le cristal n'est pas moindre que leur énergie potentielle (compte tenu de la pression interne) dans le métal. De plus, il semble bien que les électrons ne peuvent passer tout à fait librement du sel au métal, mais n'y peuvent parvenir que s'il y a à la surface de contact une concentration d'électrons suffisante, ou un champ assez intense. Il semble qu'il en est encore de même pour les ions de calcium, au cours de l'électrolyse du carbonate de calcium solide (A. Joffe). De ceci résulte qu'il y a un petit ressaut d'énergie entre l'intérieur du cristal et le métal. Comme les résultats de l'émission thermoionique ne paraissent pas indiquer que ce fait se produit du côté du métal pour empêcher la libre pénétration des électrons, il est probable que le ressant d'énergie est situé, par rapport à la surface de séparation, du côté du cristal. On peut parvenir à la même conclusion du fait que l'expérience élémentaire montre qu'il est possible de charger la surface du cristal sans rendre ce cristal conducteur. Cela signifie qu'un petit ressaut d'énergie potentielle empêche les électrons de la surface de pénétrer dans le volume d'énergie potentielle plus faible qui est à l'intérieur de la surface. Mais ce ressaut ne saurait être très grand, puisque des champs modérés peuvent le surmonter, ainsi qu'il a été mentionné ci-dessus.

Le fait que les électrons ne passent pas directement d'un métal au sel, pour en ressortir ensuite, doit donc être dû à l'existence d'un obstacle important à la pénétration des électrons du métal dans le cristal et l'on peut montrer que l'établissement de charges spatiales ne suffit pas à produire cet obstacle. Cela signifie que l'énergie potentielle d'un électron dans le cristal doit être considérablement plus grande que dans le métal, donc que la fonction travail du cristal doit être considérablement plus petite que celle du métal. On est malheureusement encore mal renseigné sur ce point; Joffe a essayé d'évaluer la fonction travail d'un cristal : elle serait inférieure à celle d'un métal d'une quantité égale au produit de 1 v par la charge d'un électron.

La courbe schématique de la figure 1 résume ces relations entre les fonctions travail d'un métal et d'un cristal de sel.

3. Expériences de Coehn. — Coehn a expérimenté sur des contacts entre métaux et diélectriques. Il a trouvé que les métaux au contact du diamant se chargent toujours positivement, ce qu'il explique par l'hypothèse que quelques électrons du métal passent au diamant. Avec d'autres diélectriques les métaux électropositifs se chargent positivement, les métaux plus nobles, négativement, ce que Coehn explique par une surcompensation de l'effet électronique du fait d'une cession d'ions positifs du métal au diélectrique. En principe, il semble possible que les rares électrons suffisants pour donner une charge mesurable puissent être en équilibre avec le métal même à la température ordinaire, en raison de la différence des fonctions travail, trouvée égale, plus haut, à une valeur correspondant au produit de 1 v par la charge d'un électron, relativement à une température de 1500°C pour une énergie correspondant au produit de 5 v par la charge d'un électron; mais, d'autre part, les potentiels relativement élevés mesurés par Coehn rendent cette explication assez douteuse. De plus, il est à noter que les surfaces avec lesquelles il expérimente sont déplacées l'une contre l'autre.

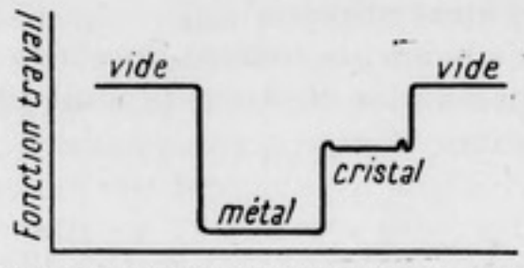


Fig. 1. — Fonctions travail comparées à la surface d'un métal et à la surface d'un cristal.

De même, on peut discuter la question de savoir pourquoi, si l'on plonge deux électrodes dans l'eau et que l'on applique entre elles une différence de potentiel, le courant est entièrement transporté par les ions, ce dont la loi de Faraday nous donne la garantie, au lieu de l'être par les électrons émanant simplement de la cathode. Ceux-ci se fixeraient probablement à une molécule d'eau, en formant un ion négatif $(H^2O)^-$ qui se déplacerait avec la vitesse normale des ions et viendrait se décharger à l'anode. La raison pour laquelle cela ne se produit pas doit être que le travail nécessaire pour faire passer un électron du métal à l'eau est trop grand. La fonction travail (résultante) du métal correspondant au produit de 5 v environ par la charge d'un électron, nous pouvons, d'autre part, essayer d'évaluer la grandeur de l'énergie rendue disponible par l'immersion de l'électron dans l'eau; elle est formée de deux parties : 1° le travail disponible au cours de la fixation d'un électron à une molécule d'eau (correspondant à l'électroaffinité de la vapeur d'eau, sur laquelle on ne sait rien, sauf qu'elle est très probablement positive); 2° la chaleur de dissolution de cet ion négatif dans l'eau liquide. Cette chaleur de dissolution paraît correspondre à une libération d'énergie correspondant au produit de 3 v environ par la charge d'un électron.

4. Décharge des ions a la surface d'une électrode. — Il nous reste enfin à rechercher comment des ions peuvent se

décharger à la surface d'une électrode. Supposons que nous ayons un ion positif d'affinité électronique supérieure à celle du métal. On peut se faire l'image suivante de ce qui se passe au voisinage de la surface de la cathode : à l'intérieur du métal, les électrons possèdent une certaine énergie potentielle (compte tenu de l'effet de la pression interne) ; à la surface, une rapide élévation d'énergie potentielle, correspondant, dans une première approximation, à la fonction travail ; à une distance de l'ordre des dimensions atomiques, une couche d'ions positifs dans le liquide, où l'énergie potentielle est plus basse que dans le métal ; dans la nappe localisée entre la surface du métal et le plan passant par le centre des ions, un champ intense que l'on peut considérer, en première approximation, comme uniforme et de l'ordre de grandeur mesuré par le rapport entre l'affinité électronique des ions et les dimensions atomiques. Il résulte de la nouvelle mécanique quantique que les électrons peuvent franchir ce ressaut assez élevé d'énergie (le produit de 5 v environ par la charge d'un électron), pourvu qu'il se produise suivant une couche assez mince, ou, en d'autres termes, que le champ soit assez intense : physiquement, cela résulte du fait que les électrons se comportent comme des ondes.

Une onde peut franchir une lame, aussi élevé que soit son coefficient d'absorption, pourvu que la lame soit assez mince. La facilité du passage de l'électron est très sensible au champ, précisément dans le domaine des intensités qu'il est raisonnable d'attribuer au champ dans le cas présent. La décharge pourra donc se produire sans difficulté pour des ions petits, ou pour des milieux où le ressaut d'énergie est petit, alors que dans des cas moins favorables il serait possible de faire croître artificiellement le champ, soit par accumulation d'ions, soit par l'application d'un champ extérieur d'intensité suffisante.

Dans le cas des ions négatifs, où le passage de l'électron se produit de l'ion au métal, les phénomènes se déroulent d'une manière analogue, au point de vue qualitatif.

5. Charges spatiales dans les isolants solides et liquides. — Dans le cas des gaz raréfiés, la vitesse des centres électrisés est principalement déterminée par le champ. Dans les corps condensés, au contraire, la vitesse des ions est surtout d'origine thermique et elle n'est que peu modifiée par le champ électrique. Dans ce cas, Townsend a montré que le rapport entre la mobilité électrique K et le coefficient de diffusion D est donné par l'équation

$$\frac{K}{D} = \frac{e^2\varepsilon}{kT} = \frac{F^2\varepsilon}{NRT}$$

où e est la charge d'un ion, ε, la constante diélectrique du milieu, $k = \frac{R}{N}$, la constante de Boltzmann (constante des gaz R divisée par le nombre N de molécules par molécule-gramme), et F la valeur du faraday (96 500 coulombs), $\frac{F}{N}$ étant par conséquent égal à e.

On suppose que q ions positifs et q ions négatifs soient produits par centimètre cube et par seconde, et que leur vitesse de recombinaison est de la forme $\alpha n_+ n_-$ (1). On raisonne sur un condensateur plan infini. L'étude théorique de la répartition des charges spatiales donne dès lors les résultats suivants : sauf dans le cas où la différence de potentiel se limite à quelques volts, l'effet de la diffusion peut être négligé. Mais alors, l'existence des charges spatiales doit résulter du fait que le courant électrique perturbe de façon appréciable l'équilibre entre la dissociation et la recombinaison des ions. Cela signifie, en outre, que nous ne pouvons avoir des charges spatiales en quantité appréciable que si le courant possède une intensité comprise dans un domaine étroit, voisin du courant de saturation. Si l'intensité du courant était infiniment petite par rapport à celle du courant de saturation, l'équilibre de l'ionisation et la recombinaison subsisterait presque sans modification, sauf au voisinage immédiat des électrodes. Si réciproquement l'intensité du courant devenait très voisine de celle du courant de saturation, on aurait à nouveau un champ uniforme, les ions étant entrainés si rapidement qu'aucune charge spatiale ne puisse s'accumuler, ainsi que Seeliger l'a montré en 1910.

6. Remarque. — Nous devons signaler que Joffe a trouvé que, après suppression d'un champ ayant agi assez longtemps pour édifier une charge spatiale considérable, il y a une conductivité accrue, qui disparaît lentement. Whitehead et Marvin ont signalé avoir constaté le même fait pour des huiles isolantes, après renversement du champ. Joffe interprète ce fait en supposant que le champ provoque une accumulation d'ions, qui, reprenant leur liberté lorsque le champ est supprimé, diffusent de nouveau dans la masse principale du liquide et en accroissent la conductivité jusqu'à ce qu'ils disparaissent lentement par recombinaison.

L'auteur montre par le calcul que dans toute la région où la charge spatiale est considérable, le nombre d'ions est toujours moindre en présence du courant que sans courant. Il est possible qu'il y ait un excès d'ions présents ; mais cela doit être dû à une difficulté de décharge des ions à l'électrode, et ils doivent se concentrer en une couche extrêmement mince voisine de l'électrode, si mince que la chute de potentiel n'y soit que de quelques volts. — L. B.

L'effet Barkhausen dans le fer, le nickel et le permalloy : Mesure des changements discontinus de l'intensité d'aimantation (1).

1. Sur les discontinuités observées dans l'effet Barkhausen. — L'expérience a montré que l'effet Barkhausen est dû à des discontinuités de l'intensité d'aimantation et que les plus grandes discontinuités correspondent au renversement du sens de l'aimantation d'un nombre d'éléments magnétiques égal à celui contenu dans un volume de 10^{-5} ou 10^{-6} cm³. Mais on n'a pas déterminé si les discontinuités observées expliquent une fraction importante du changement total de l'induction ou si ce changement peut être mieux expliqué par un grand nombre de discontinuités très petites, dont la plupart correspondraient à des renversements simultanés de quelques atomes seulement. P. Weiss et G. Ribaud ont émis l'hypothèse que chaque cristal renverserait son moment magnétique d'un seul coup, et, selon cette manière de voir, on devrait s'attendre à ce que, dans les métaux recuits, le changement total d'induction pût s'expliquer par des discontinuités assez grandes pour se prêter à l'observation. La grandeur des plus importantes discontinuités avait aussi suggéré aux premiers observateurs que chaque cristal du métal devait modifier son aimantation en bloc. Mais, d'autre part, Tyndall avait signalé que la grandeur des discontinuités ne dépendait pas des dimensions des grains, tout au moins pour l'acier au silicium, et plus

(1) n_+ et n_- étant, respectivement, les nombres d'ions positifs et négatifs par centimètre cube.

(1) R.-M. Bozorth. *The physical Review*, 1er septembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 772-784, 3 500 mots, 16 figures.

récemment Sizoo (1929) est parvenu à des conclusions similaires pour le fer électrolytique.

Enfin, on a souvent observé que l'effet est plus prononcé dans les matériaux fortement écrouis que dans les matériaux recuits, et l'on pourrait en conclure que les groupes sont plus grands dans une substance à petits cristaux qu'ils ne le sont dans un corps recuit, donc à grains relativement plus grossiers.

Non seulement, il y a lieu d'envisager ces diverses possibilités relatives aux grandeurs moyennes des discontinuités, mais il y a aussi à étudier une grande variété de données expérimentales touchant l'effet Barkhausen observé, comme le bruit dans un récepteur téléphonique ou l'émission de courant d'un amplificateur, dans divers matériaux ayant des dimensions, des formes et des perméabilités différentes.

2. Dispositif expérimental. — La substance magnétique à examiner est placée dans un champ magnétique changeant lentement et uniformément. Au moment où se produit un changement discontinu de l'induction B, une force électromotrice E prend naissance dans une bobine entourant l'échantillon. Cette force électromotrice est proportionnelle à $\frac{dB}{dt}$; elle s'élève rapidement jusqu'à un maximum, puis diminue jusqu'à zéro. L'aire comprise entre la courbe $E = f(t)$ et l'axe des abscisses est proportionnelle à la variation de l'induction résultant d'une impulsion de Barkhausen. Un très grand nombre de telles impulsions se produisent durant un cycle magnétique complet, peut-être 10^6 par centimètre cube, et le problème consiste à intégrer l'ensemble des aires comprises entre la courbe $E = f(t)$ et l'axe des abscisses. L'on arrive à ce résultat en amplifiant les forces électromotrices et en utilisant le courant issu de l'amplificateur de telle façon que le courant mesuré représente la valeur moyenne, pour une période de plusieurs secondes, des courants qui sont à chaque instant proportionnels à $\frac{dB}{dt}$. Ce courant moyen, multiplié par le temps, donne la totalité de la variation de l'induction qui se produit durant ce temps sous la forme de discontinuités assez grandes pour pouvoir être décelées.

L'appareil employé est montré schématiquement sur la figure 1. Un champ magnétique lentement variable est produit dans la bobine M au moyen du dispositif représenté sur

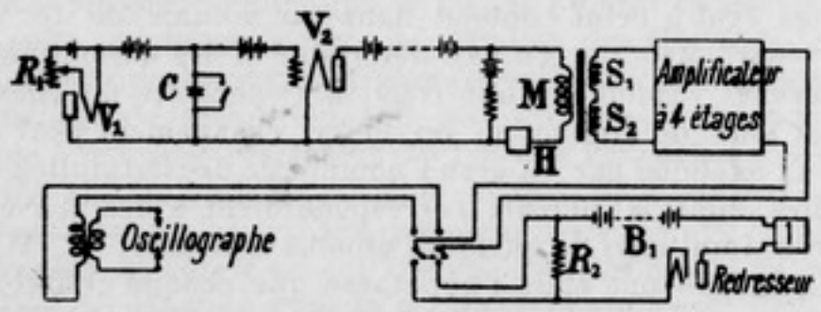


Fig. 1. — Schéma de l'appareil servant à l'étude de l'effet Barkhausen

la partie gauche du schéma. Dans cette partie, un condensateur C est lentement chargé par un petit courant traversant un tube à vide V_1. L'armature positive de ce condensateur agit sur la grille d'un autre tube à vide V_2, dont le courant parcourt la bobine, une batterie et une résistance disposées en parallèle avec la bobine permettant de faire varier l'intensité du champ magnétique entre — 10 et + 10 gauss à une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant qui charge le condensateur C. La vitesse de variation du champ peut aisément passer de 0,001 à 10 gauss par seconde en modifiant une résistance R_1 sur le circuit du filament de V_1.

La bobine magnétisante entoure l'échantillon et les deux bobines exploratrices S_1 et S_2, qui sont enroulées sur des tubes de 2,5 cm de longueur et 2,5 cm de diamètre extérieur, et sont connectées en opposition entre elles et en série avec l'amplificateur. Celui-ci, qui comporte quatre étages, est couplé en résistance et capacité avec 200 000 ohms et 1 microfarad, et présente sur la grille une fuite commandée par une résistance de 0,5 mégohm. Son fonctionnement fut essayé jusqu'à la fréquence de 10^4 p : s, point auquel son efficacité n'avait encore que légèrement baissé. Le courant issu de l'amplificateur traverse une résistance R_2 d'environ 50 000 ohms, et la différence de potentiel constante produite entre les extrémités de cette résistance, lorsque la force électromotrice du système $S_1 S_2$ est nulle, est neutralisée par une batterie B_1. En série avec cette batterie sont disposés un redresseur et un ampèremètre, qui enregistre l'intensité du courant. En raison de la grandeur de la résistance R_2 et des caractéristiques du redresseur, la relation entre la différence de potentiel appliquée à l'amplificateur et l'intensité du courant lue sur l'ampèremètre est approximativement linéaire. La batterie en série avec le redresseur est ajustée jusqu'à ce que le courant indiqué par l'ampèremètre soit de 10 μA. Quand une différence de potentiel alternative variable est appliquée au premier étage de l'amplificateur, le courant qui en sort est presque exactement proportionnel à la valeur moyenne de cette différence de potentiel pour des courants compris entre 20 et 300 μA. Or, l'étendue des courants utilisés était de 20 à 200 μA.

Tout l'appareil est protégé au point de vue électrostatique : il est enfermé dans des boîtes en fer connectées entre elles. Le tube à vide du premier étage de l'amplificateur et le tube à travers lequel passe le courant magnétisant sont, en outre, suspendus par des bandes de caoutchouc dans de petites boîtes de plomb montées sur des ressorts, qui les mettent à l'abri des vibrations mécaniques.

3. Mode de fonctionnement du dispositif et conditions d'essais. — Lorsqu'un brusque changement d'intensité d'aimantation, caractéristique de l'effet Barkhausen, se produit dans l'échantillon à l'intérieur de l'une des bobines exploratrices, la force électromotrice qui agit sur l'amplificateur est proportionnelle à $\frac{dB}{dt}$, vitesse de changement de l'induction dans l'échantillon, qui est sous la dépendance de la vitesse de décroissance des courants de Foucault.

Si l'appareil est bien construit, le courant i qui en sort est proportionnel à $\frac{dB}{dt}$. Si la lecture à l'ampèremètre est i_1, moyenne des valeurs instantanées de i, le changement total d'induction, qui se produit par sauts discontinus, peut être calculé au moyen de l'équation

$$B' = A_1 \int i_1 \, dt,$$

de sorte que, en mesurant i_1 en fonction de t, en intégrant et en multipliant par la constante convenable A_1, on peut déterminer B' et le comparer avec B, changement total d'induction observé à la manière habituelle. Ou bien, plus simplement, on peut calculer à partir de i, le rapport $\frac{dB'}{dH}$ dû aux changements d'induction de Barkhausen et le comparer au rapport $\frac{dB}{dH}$ total obtenu par le procédé usuel.

Quand un brusque changement d'induction se produit dans la seconde bobine exploratrice, entourant une autre portion de l'échantillon, une force électromotrice s'établit, et, les bobines ayant été connectées en opposition, elle agit en sens inverse de celle produite dans la première bobine ; mais le redresseur empêche le courant ainsi produit de traverser l'ampèremètre. Le rôle de la seconde bobine est double : le premier est de neutraliser l'effet d'un champ magnétique alternatif parasite susceptible de traverser les deux blindages de 1/4 d'inch de cuivre et de 3/8 d'inch de permalloy recuit entourant la bobine magnétisante ; le second est de rendre nulle la différence de potentiel moyenne appliquée à l'amplificateur, de sorte que les charges des condensateurs de couplage produites par de nombreuses impulsions successives dans un sens ne soient pas perdues par décharge à travers les fuites de grille. On a exécuté un essai pour s'assurer que le même brusque changement d'induction n'affecte pas l'ensemble des deux bobines exploratrices. Les bobines étaient placées à diverses distances l'une de l'autre et le courant i_1, observé dans chaque cas pour un changement donné d'induction. Le résultat fut que le courant i_1 croissait d'abord avec la distance jusqu'à ce que celle-ci atteigne 4 à 5 cm ; ensuite i_1 restait pratiquement constant. En conséquence, les mesures furent faites avec une distance des bobines égale à 7 cm.

Lorsque les intervalles de temps séparant les impulsions successives, dues à des discontinuités successives, sont assez courts, les impulsions dues à l'une des bobines exploratrices empiètent sur celles dues à l'autre, et l'on trouvera une valeur trop petite du courant i_1. En conséquence, et afin de mesurer la totalité du changement discontinu d'induction, il faut faire varier le champ magnétisant très lentement, et même faire des mesures pour diverses vitesses de variation, et extrapoler pour une vitesse nulle.

Enfin, on procède à l'étalonnage de l'appareil en enlevant l'échantillon et plaçant coaxialement avec l'une des bobines exploratrices une longue bobine à une seule couche à travers laquelle on fait passer un petit courant sinusoïdal d'intensité et de fréquence connues. Le courant traversant cette bobine produit un changement de flux, de vitesse moyenne calculable à la place précédemment occupée par l'échantillon. On peut poser

$$\frac{d\Phi}{dt} = Ai,$$

et

$$A = 0{,}8\pi 2^{\frac{1}{2}} n \nu A_c \alpha,$$

où ν est la fréquence du courant, n, le nombre de spires par centimètre de la bobine, A_c, l'aire de sa section droite, et α, le rapport entre l'intensité du courant traversant la bobine et la valeur correspondante de i. On a alors

$$\frac{dB'}{dt} = \frac{Ai}{S},$$

où S est l'aire de la section droite de l'échantillon.

4. Résultats obtenus. — Les corps suivants ont été étudiés :

Fer Armco, étiré dur ;

Fer Armco, recuit dans le vide trois heures à 1 100°C, une heure à 880°C, puis refroidi à la vitesse de 300°C par heure ;

Permalloy de titre en nickel égal à 0,81, étiré dur ;

Permalloy de titre en nickel égal à 0,81, recuit dans le vide trois heures à 1 100°C, refroidi à la vitesse de 300°C par heure ;

Permalloy de titre 0,5 en nickel, recuit trois heures dans le vide à 1 100°C, refroidi à la vitesse de 300°C par heure ;

Nickel, recuit trois heures dans le vide à 1 100°C, refroidi à la vitesse de 300°C par heure ;

Tous les échantillons avaient 1 mm de diamètre et 20 cm de longueur.

Les résultats obtenus montrent que le changement total de l'aimantation sur les parties les plus en pente des courbes d'hystérésis des échantillons de fer et de permalloy travaillé dur s'explique par les discontinuités magnétiques décelées et mesurées par l'appareil. Les plus grandes discontinuités correspondent au renversement complet de l'aimantation d'environ 10^{17} atomes, ou d'un volume de 10^{-6} cm^3. L'auteur, estimant que des discontinuités correspondant à des groupes de 10^{10} atomes ne doivent pas affecter de façon appréciable le système de mesure, conclut qu'une très petite proportion des discontinuités correspond à des groupes contenant moins que ce nombre d'atomes. En d'autres termes, les discontinuités de Barkhausen qui expliquent pratiquement le changement total d'aimantation sont dues à l'action simultanée d'un grand nombre d'atomes et ce n'est que l'aimantation d'un nombre relativement petit d'atomes qui est renversée dans des groupes de moins de 10^{10} atomes. Cette conclusion ne s'applique, naturellement, qu'aux changements d'aimantation sur les parties de la courbe d'hystérésis où la pente est le plus accentuée.

A vrai dire, pour le permalloy recuit, la vitesse de variation de l'aimantation calculée à partir des mesures de l'effet Barkhausen ne dépasse jamais les deux tiers environ de la vitesse totale de variation ; mais il faut remarquer que ce fait pouvait être prévu, parce que la perméabilité réversible de ce corps est très élevée, et que, par conséquent, la perte due au chevauchement des courants par courant les deux bobines exploratrices est relativement grande. La conclusion la plus raisonnable est donc que dans tous les corps examinés le nombre de changements magnétiques intéressant moins de 10^{10} atomes est très petit, sur les parties les plus en pente des courbes d'hystérésis. Il y a d'autres preuves de cette conclusion qui seront rapportées plus tard.

Des expériences sur l'effet Barkhausen avaient été faites antérieurement avec divers corps, et au moyen de plusieurs sortes d'appareils, avec une grande variété de résultats. Ces résultats s'expliquent maintenant comme dus aux diverses vitesses de décroissance des courants de Foucault dans des échantillons de diverses tailles, formes et perméabilités. Par exemple, la différence d'intensité du son dans les récepteurs téléphoniques, selon que l'on y emploie des échantillons de permalloy recuit ou étiré dur, est très marquée. Dans le dernier cas, les courants de Foucault ont une décroissance plus rapide et le courant instantané qui traverse le récepteur est alors bien plus grand que pour le permalloy doux, de sorte que le diaphragme du récepteur se déplace avec une amplitude et une vitesse plus grandes. — L. B.

Pertes diélectriques aux fréquences élevées [1].

1. Méthode de mesure adoptée. — Les méthodes employées pour la mesure des pertes diélectriques aux fréquences élevées sont les suivantes : 1° Les méthodes de pont équilibré ; 2° celle du wattmètre électrostatique ; 3° celles de

[1] G.-E. Owen. *The physical Review*, 1er octobre 1929, t. XXXIV (2e série), p. 1 035-1 039. 1 200 mots, 8 figures.

variation de résistance; 4° les méthodes potentiométriques. On rencontre dans chacune de ces méthodes des difficultés tenant à ce que des hypothèses plus ou moins certaines y sont impliquées. Une méthode basée sur la quantité de chaleur dégagée dans le condensateur formé par le diélectrique étudié semble être à l'abri de ces difficultés. C'est pourquoi l'auteur a mesuré les pertes diélectriques dans la fibre vulcanisée, le celluloïd, le caoutchouc et le verre, au moyen d'un calorimètre différentiel. Cette méthode n'a besoin d'aucune hypothèse sur les propriétés électriques du circuit et elle ne mesure que l'énergie transformée en chaleur dans le condensateur. Elle a, en outre, l'avantage d'être applicable à de petits condensateurs qui se prêtent difficilement à des mesures par d'autres moyens.

L'appareil est formé de deux petits flacons A et B reliés entre eux par un tube de verre et scellés à la paraffine, sous la pression atmosphérique. Sur le trajet du tube se trouve interposé un manomètre différentiel très sensible de construction particulière. Le flacon B contient un petit condensateur, dont le diélectrique est formé de la substance à étudier, et une résistance portée par des conducteurs séparés de ceux du condensateur. L'autre flacon est employé simplement comme compensateur de pression, destiné à éviter les effets des changements extérieurs de température et de pression.

Le circuit électrique consiste en un oscillateur de Hartley et comporte un circuit secondaire formé d'une bobine de 50 spires et d'un condensateur variable en parallèle avec le condensateur de mesure. Les fréquences sont mesurées avec un ondemètre et la différence de potentiel appliquée au condensateur de mesure, avec un voltmètre électrostatique.

Quand un courant oscillant traverse le condensateur de mesure, la chaleur qui y est produite change la pression de l'air contenu dans le flacon B. La pression atteint une valeur stationnaire, lorsque la chaleur produite est égale à la chaleur perdue par les parois du flacon. On note alors la pression. On produit ensuite la même variation de pression en faisant passer un courant continu d'intensité convenable dans la résistance. La puissance dissipée en chaleur dans le condensateur est alors égale à celle produite par cette résistance.

2. Résultats. — Voici les résultats obtenus avec une lame de fibre vulcanisée de 1 cm² de surface et de 0,03 cm d'épaisseur, au moyen d'électrodes de zinc, Pour chaque différence de potentiel appliquée, entre 35 et 50 v, la perte de puissance est proportionnelle à la fréquence, celle-ci variant entre 225 000 et 600 000 p : s. Le champ maximum, correspondant à 50 v, est de 1 700 v : cm. Pour les champs plus intenses, les résultats deviennent irréguliers, par suite probablement de fuites propres au condensateur lui-même et indépendantes du diélectrique. Enfin, pour chaque fréquence étudiée, la perte diélectrique se montre proportionnelle au carré de la différence de potentiel appliquée.

La présence d'humidité produit un effet très important. Un condensateur maintenu une nuit dans une atmosphère de degré hygrométrique égal à 0,7 manifeste une perte double de celle du même condensateur placé pendant deux jours dans une atmosphère bien desséchée par l'anhydride phosphorique. C'est dans une telle atmosphère qu'avait été maintenu le condensateur au cours des mesures dont les résultats ont été indiqués ci-dessus, mais après avoir fait agir l'anhydride phosphorique pendant plus de deux mois La dessication semble en effet très lente, car, après plusieurs semaines, on observait encore une diminution des déviations. Un condensateur placé dans un flacon contenant quelques gouttes d'eau fournissait de très grandes variations non mesurables.

Avec des condensateurs à celluloïd ou à caoutchouc, on a obtenu des résultats similaires. Pour tous les potentiels fournissant des lectures régulières, les pertes diélectriques se montrent proportionnelles à la fréquence et au carré de la différence de potentiel appliquée. Les lectures deviennent irrégulières, à 7 000 v : cm pour le celluloïd, et à 3 000 v : cm pour le caoutchouc.

Il est malaisé de comparer ces résultats avec ceux d'autres observateurs parce que la plupart de ces derniers résultats ont été exprimés en fonction du facteur de puissance du condensateur. On admet en général que le rapport $\frac{S}{c\nu}$ est équivalent au facteur de puissance (S est la conductivité du diélectrique à la fréquence ν utilisée et c, la capacité). Mais chacun des facteurs de cette expression dépend de la fréquence, de sorte que les courbes obtenues en rapportant le facteur de puissance à la fréquence ne sont pas de forme simple. — L. B.

La photoionisation de la vapeur de potassium (1).

Les auteurs étudient, au moyen d'une méthode décrite antérieurement, la variation de la photoionisation de la vapeur de potassium (par unité d'intensité lumineuse) B_ν, en fonction de la longueur d'onde. B_ν présente des maxima dans le domaine de 2 100 à 3 000 Å, l'un à la limite de série, 2 856 Å, et un autre à 2 340 Å, la grandeur de ce dernier étant trois fois plus grande que celle du premier. B_ν passe par un minimum au voisinage de 2 700 Å. On montre que les premiers résultats obtenus concordent avec les données actuelles qui sont beaucoup plus précises, sous cette réserve que les travaux antérieurs laissaient de côté de nombreux détails intéressants, en raison de la largeur des bandes de longueurs d'onde utilisées et du petit nombre d'observations.

La diminution du rendement de l'ionisation des deux côtés de la limite de série est analogue à la variation correspondante présentée par le césium et le rubidium et il semble probable, bien que ce ne soit pas encore prouvé, que l'ionisation par les longueurs d'onde supérieures à la limite de série est due à l'absorption des lignes de la série principale,

L'accroissement de B_ν au delà de la limite de série a été attribué antérieurement à l'ionisation des molécules. Le présent travail montre que, si l'on adopte ce point de vue, le seuil moléculaire apparent est situé à 2 700 Å et non à 2 550 Å, nombre résultant d'un précédent travail Ce fait constitue en soi-même une sérieuse objection à l'interprétation de la variation observée de B_ν, comme étant un phénomène moléculaire. Les auteurs indiquent que les observations de Williamson sur les vitesses émergentes des photoélectrons ne fournissent aucune preuve d'une ionisation moléculaire impliquant une dissociation de la molécule et l'ionisation de l'un de ses atomes. Les observations de Ditchburn relatives à l'absorption optique continue due à des atomes de potassium sont en accord qualitatif avec les présents résultats. C'est pourquoi il semble probable que la dépendance observée entre B_ν et la longueur d'onde est une propriété atomique du potassium. — L. B.

(1) E.-O. Lawrence et N. E. Edlefsen. *The physical Review*, 1er octobre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1056-1060, 1 800 mots, 1 figure.

SECTION INDUSTRIELLE

Contribution expérimentale au problème des interrupteurs dans l'huile *(Suite et fin)* (*)

IV. **Température moyenne des gaz.** — A l'aide des prises cinématographiques au ralenti, il a été possible de déterminer la température moyenne des gaz pendant la rupture. La connaissance du volume des gaz chauds, développés par un travail de rupture égal à un kilowatt-seconde, forme en effet la base du calcul des interrupteurs. Les mesures, faites avec le gazomètre seulement, ne donnent cependant que la quantité du gaz après le refroidissement, de sorte que, en faisant les calculs des contraintes subies par les disjoncteurs au moment de la rupture, on a été obligé de faire des hypothèses sur la température des gaz pour en déduire leur volume à chaud.

La température moyenne de la poche gazeuse pendant le processus de rupture a été déterminée de la façon suivante : Désignons par V_2 le volume du gaz dégagé à la température ambiante (20°C), à la pression de 1 atmosphère par V_1 le volume du même gaz à une température absolue de T_1°C et sous une pression de p_1 atmosphères. Connaissant p_1, V_1 et V_2 et en admettant le coefficient de dilatation des gaz égal à $\frac{1}{273}$ (1), on calcule T_1 par la relation

$$V_2 \frac{273}{293} = V_1 p_1 \frac{273}{T_1},$$

$$T_1 = \frac{V_1 p_1}{V_2} 293.$$

Ce calcul, qui donne pour T_1 la valeur maximum, admet implicitement que la quantité des vapeurs d'huile, qui se condensent en se refroidissant, est négligeable. En réalité, les gaz chauds contiennent des vapeurs d'huile dont le volume ne peut qu'être estimé. Si l'on admet, d'après Brühlmann, la part des vapeurs à 50 pour 100, la formule ci-dessus s'écrit

$$T_1' = \frac{V_1 p_1}{1{,}5\ V_2} \times 293.$$

On obtient ainsi pour la température de la bulle gazeuse une limite inférieure, qui ne sera très probablement pas atteinte.

Pour cette étude, le volume des gaz chauds a été évalué de deux façons : en mesurant sur le film cinématographique le diamètre de la bulle et en établissant le déplacement du niveau d'huile. La quantité du gaz a été ensuite calculée en tenant compte des pressions enregistrées. Ces mesures ont montré que le volume des gaz correspondant à la hauteur d'une colonne de mercure de 760 mm se réduit avec leur refroidissement à la moitié et parfois même au quart de la valeur initiale. Cette investigation nous a donné pour T_1 des valeurs atteignant 800° absolus et pour T'_1 jusqu'à 550°. Il est intéressant de faire remarquer qu'en formant le rapport des valeurs instantanées du volume des gaz chauds (à la pression atmosphérique) à l'énergie calorifique dissipée par l'arc, on obtient des chiffres qui augmentent graduellement au cours de la rupture.

On peut contrôler tous ces résultats par une autre méthode, basée sur une expérience relativement simple. Si l'on fait un essai de rupture dans un interrupteur rendu complètement étanche, dans lequel le volume V_0 du matelas d'air est connu, et si l'on enregistre l'allure de la pression pendant et après l'essai, on peut en déduire la valeur du rapport du volume des gaz chauds à celui des gaz froids (sous la même pression), de même que la température moyenne de la bulle gazeuse. Soient V_1 le volume des gaz déjà refroidis à la température ambiante (20°C) et à la pression correspondant à une hauteur de 760 mm de mercure, p_1 la pression maximum pendant la rupture et p_2 celle qui s'établit dans l'interrupteur après le refroidissement complet des gaz; entre ces grandeurs et la température T_1 existent les relations suivantes

$$V_1 + V_0 = V_0 p_2,$$

$$V_1 \frac{273}{293} \frac{T_1}{273} + V_0 = V_0 p_1.$$

Ici encore, nous avons admis pour le coefficient de dilatation des gaz la valeur $\alpha = \frac{1}{273}$, ce qui est une approximation suffisante. On admet également que la compression de l'air ne provoque pas d'échauffement sensible dans l'espace au-dessus de l'huile. Pour que le résultat des expériences ne soit pas faussé par l'influence des à-coups de pression provoqués par l'accélération du piston d'huile, il faut avoir soin de choisir V_0

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 15 février 1930, t. XXVII, p. 251-262.

(1) Cette hypothèse n'est qu'approximative, puisque les gaz se composent d'un mélange.

sensiblement plus petit que V_1, de manière que le maximum de pression p_1 se produise après l'arrêt du piston d'huile, le coup de bélier proprement dit ne pouvant pas se produire à cause de l'air comprimé sous le couvercle formant coussin élastique.

En résolvant les équations par rapport à T_1 on obtient

$$T_1 = 293 \frac{p_1 - 1}{p_2 - 1}.$$

Cette méthode a conduit à des valeurs se rapprochant beaucoup de celles qu'on a obtenues par l'analyse des prises au ralenti. La figure 14 reproduit un oscillogramme de la tension de l'arc et de la pression dans l'interrupteur étanche, lors de l'essai de coupure d'un courant efficace monophasé de 3 240 A sous 8 100 V. On voit que, dans ce cas particulier, la température T_1 est égale à

$$293 \frac{5{,}08 - 1}{2{,}75 - 1} = 685.$$

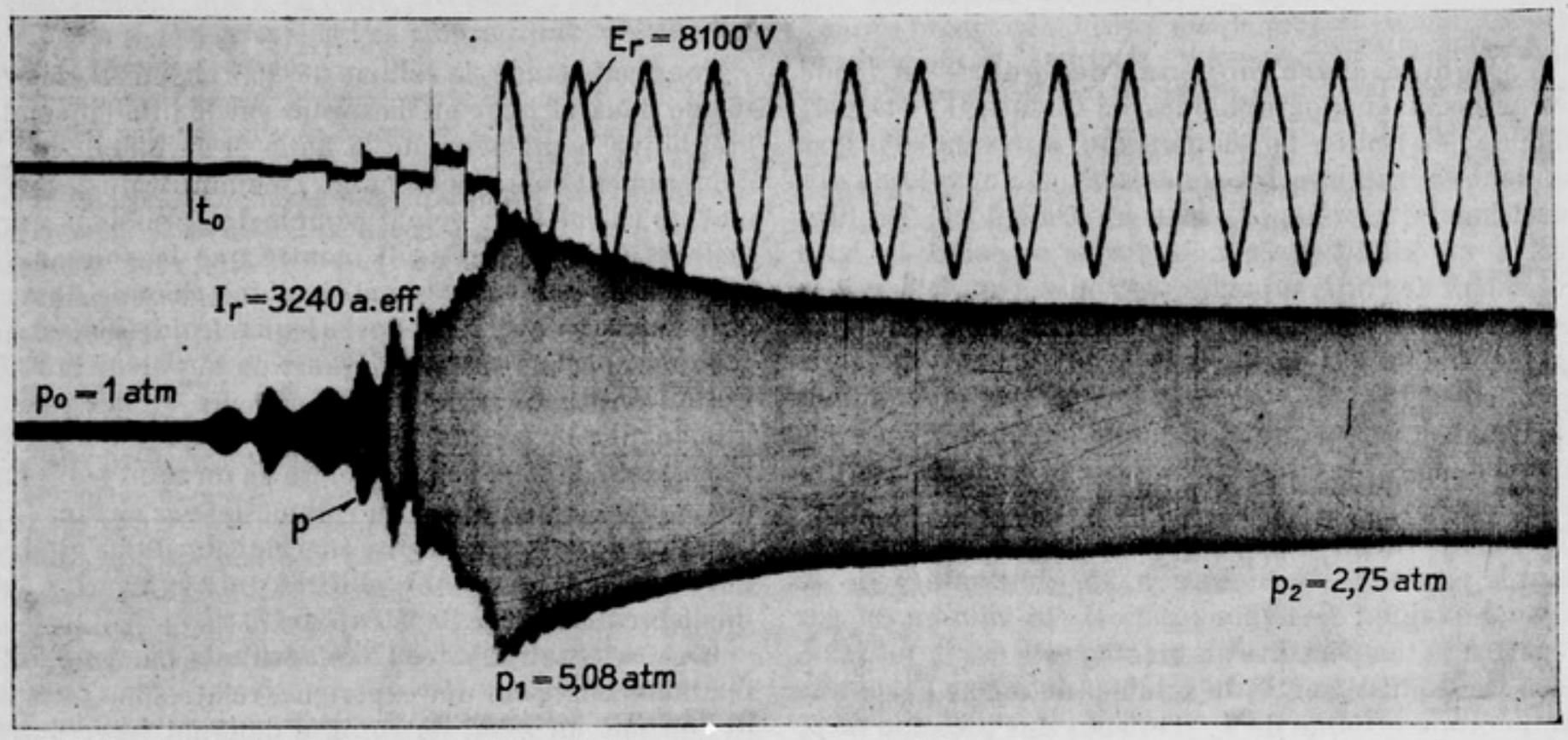


Fig. 14. — Oscillogrammes de la tension de l'arc et de la pression dans un interrupteur étanche : t_0, ouverture des contacts ; p, pression dans l'interrupteur. Courant efficace de rupture I_r, 3 240 A ; tension efficace de rupture E_r, 8 100 V.

Dans le tableau I sont données quelques valeurs obtenues à la rupture de courants d'une intensité efficace de 2 550 à 3 720 A sous 7 800 V, par double rupture.

TABLEAU I. — *Valeurs de la température des gaz dans la rupture de courants d'intensités comprises entre 2 550 et 3 720 A.*

NUMÉRO DE L'ESSAI	I_r ampères	TEMPÉRATURES T_1 degrés absolus	$\frac{V \text{ à chaud}}{V \text{ à froid}}$
1	3 120	620	2,11
2	3 330	718	2,44
3	3 300	535	1,82
4	2 550	960	3,26
5	3 030	723	2,46
6	3 030	800	2,72
7	3 720	768	2,65
8	3 660	660	2,24

De nombreux essais ont été exécutés dans le but d'établir l'influence de la grandeur du volume du matelas d'air V_0 sur la température T_1. Les chiffres obtenus étaient toutefois très peu différents de ceux indiqués dans le tableau ci-dessus.

Remarquons à ce propos que le calcul de la température de la bulle gazeuse, fait par P. Altbürger, l'a conduit aux valeurs plus élevées (de 1 200 à 3 300°). La différence vis-à-vis de nos mesures est probablement due à l'inexactitude des indications du manomètre employé par cet auteur. D'autre part, la mesure du gaz n'ayant pas été faite au cours de l'essai, Altbürger a dû se servir de la valeur moyenne de 60 cm³ par kilowatt-seconde. Ici encore il y a une source d'erreurs, puisque les mesures publiées dans son travail contiennent des chiffres allant de 25,8 jusqu'à 84 cm³ par kilowatt-seconde.

De l'allure de la pression enregistrée après l'essai de rupture dans un interrupteur complètement étanche, on peut, de plus, déduire la loi de refroidissement de la bulle gazeuse. D'après les oscillogrammes relevés au cours de ces essais, il résulte que la température des gaz s'abaisse au bout d'un temps très court (à peu près 0,25 s après l'extinction de l'arc) à la valeur de celle de l'huile. La courbe de la figure 15 reproduit le refroidissement des gaz observé pendant les quatre premiers essais du tableau I. On constate que déjà, après 0,1 s, la température baisse jusqu'à 100°C. Si l'on cherche l'équation de ces courbes de refroidisse-

ment dans les limites de temps comprises entre 0 et 0,1s, on arrive en première approximation à une fonction exponentielle $T = Ae^{-\alpha t}$. Le coefficient α diminue toutefois dans les proportions de 2 à 1 comme

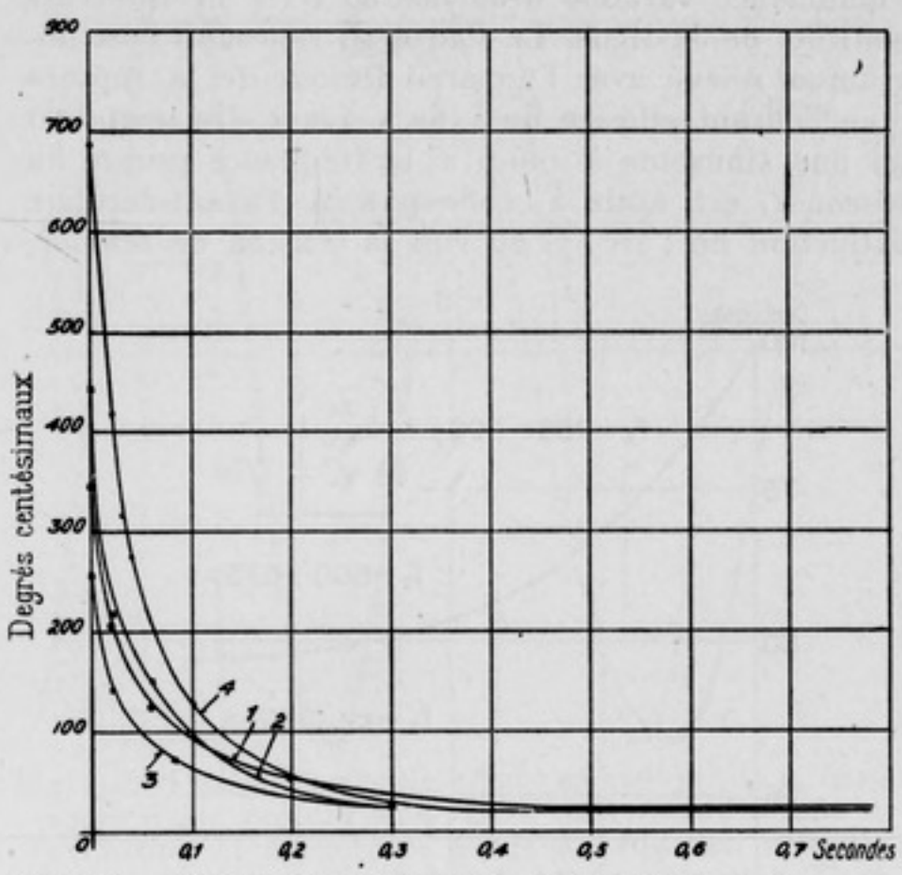


Fig. 15. — Courbes de variation de la température moyenne des gaz après l'extinction de l'arc.

on le constate en traçant les courbes à l'échelle logarithmique (fig. 16). Il est facile de concevoir pourquoi la loi exponentielle de refroidissement ne peut ici être valable : En effet, la condensation de la vapeur d'huile contenue dans la poche gazeuse est plus énergique au début. Ce phénomène simule un refroidissement plus rapide au commencement. En second lieu, la diminution continuelle du volume occupé par les gaz est accompagnée d'une augmentation de la surface, rapportée à l'unité de volume, de contact entre les gaz et l'huile, ce qui doit également accélérer graduellement le refroidissement. L'influence de la condensation des vapeurs d'huile prédomine sans doute au début, c'est pourquoi le coefficient α diminue au lieu de croître.

Les prises cinématographiques au ralenti permettent de déterminer la vitesse ascensionnelle de la poche gazeuse et d'en déduire très approximativement la température des gaz au moment où ils commencent à s'échapper de l'huile. Les bulles de 1,4 à 2 dm^3 montent à raison de 0,6 à 0,7 m : s (1), de sorte qu'il suffira généralement d'une couche d'huile de 10 à 20 cm de hauteur pour que les gaz se refroidissent complètement avant d'atteindre le niveau de l'huile.

V. **Etude du processus de réamorçage d'arc entre les contacts.** — Il a été déjà mentionné que, à chaque passage du courant par zéro, l'arc s'éteint, pour être rallumé un instant après par la tension apparaissant aux bornes. Le réamorçage est dû à une décharge disruptive à travers l'espace séparant les contacts.

La rigidité diélectrique de la gaine gazeuse est essentiellement variable avec sa température, l'ionisation des gaz portés à une température aussi élevée étant surtout d'origine thermique. Pour cette raison, le refroidissement des gaz et le retard avec lequel la tension se rétablit entre les contacts ont une influence

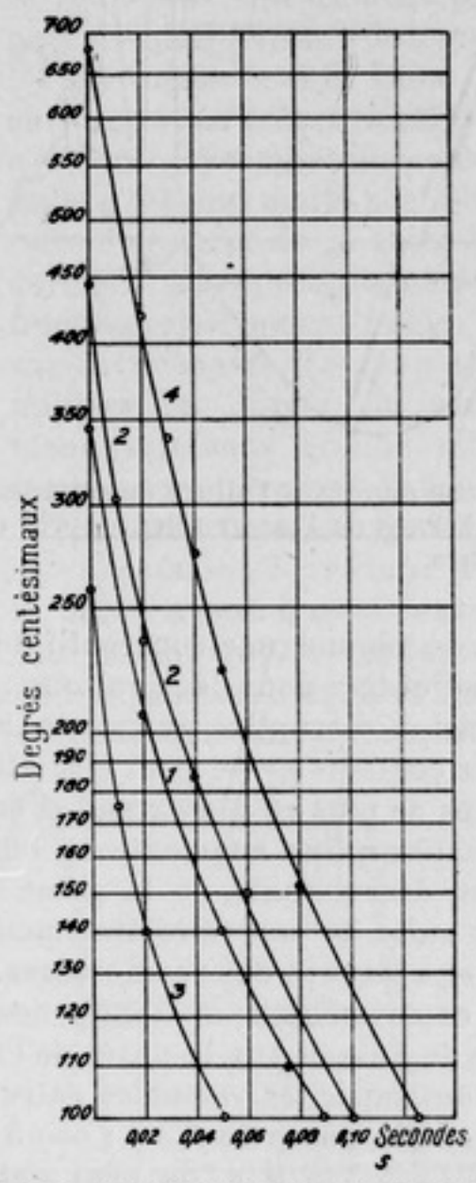


Fig. 16. — Courbe de refroidissement de la bulle gazeuse.

primordiale sur le processus de rupture. Au moment de l'extinction définitive de l'arc ($t = t_n$, fig. 17), la tension se rétablit en effectuant une oscillation amortie dont la fréquence est égale à la fréquence propre f_1 du circuit (1) d'alimentation. L'amplitude de régime à 50 p : s de la tension rétablie (on admet l'angle de déphasage φ égal à 90°) sera atteinte avec un retard

(1) Les chiffres indiqués par Altbürger sont 0,25 à 0,7 m : s.

(1) Voir *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 7 septembre 1928, t. XIX, p. 552. La fréquence propre du circuit d'alimentation est approximativement donnée par l'expression

$$f_1 = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}},$$

si L et C sont la self-inductance et la capacité équivalentes, branchées en série.

$t_1 = \frac{1}{4 f_1}$ et on conçoit facilement que, si la fréquence propre f_1 du circuit est faible, t_1 sera relativement grand, le refroidissement de la gaine, plus prononcé et son ionisation, moins durable. L'extinction de l'arc sera de ce fait facilitée. Après chaque demi-onde du courant, l'intervalle du temps t_r s'écoulant entre

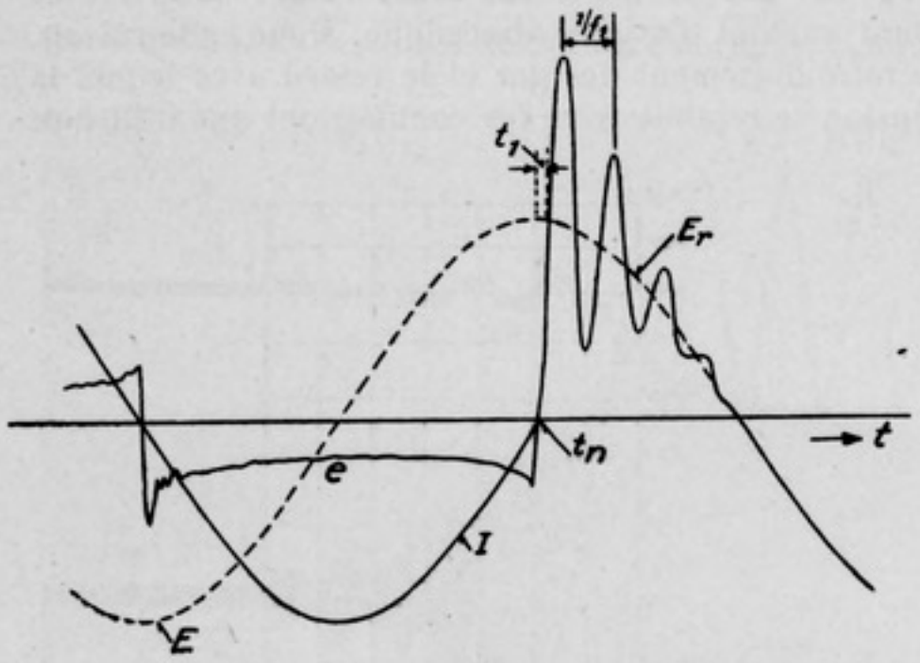


Fig. 17. — Courbe montrant l'allure de rétablissement de la tension aux bornes de l'interrupteur après extinction de l'arc de rupture.

l'extinction et le réamorçage consécutif de l'arc croît continuellement et ceci pour deux raisons : d'abord du fait que la tension disruptive augmente avec la distance entre les contacts et ne peut être atteinte qu'au bout d'un temps de plus en plus grand et ensuite parce que la tension disruptive augmente en outre à cause de l'ionisation décroissante de la gaine pendant le temps t_r, par suite de son refroidissement qui s'accentue au fur et à mesure des réamorçages.

Une étude expérimentale de l'influence de la fréquence propre du réseau sur la durée de l'arc (1), faite en branchant des capacités variables entre les phases, a montré que si l'on passe de $f_1 = 1\,000$ à $1\,500$ p:s à une fréquence $f_1 = 350$ p:s, on peut s'attendre à ce qu'une diminution de 50 pour 100 de la durée de l'arc ait lieu (fig. 18). Remarquons à ce propos que la fréquence propre des grands réseaux est généralement de l'ordre de 350 à 550 p:s (2).

Par contre, il semble bien que les oscillations avec des fréquences supérieures à $1\,500$ p:s n'ont pratiquement pas d'influence sur le processus de rupture.

(1) Voir *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 7 septembre 1928, t. XIX.

(2) On peut en conclure que les contraintes subies par des interrupteurs pendant des essais exécutés dans des laboratoires à grande puissance, construits spécialement dans ce but, sont plus fortes que lors de rupture de courts circuits dans des réseaux étendus. En effet, les oscillations propres de circuits de ces laboratoires ont généralement des fréquences bien supérieures à celles des réseaux ; cependant, les conditions de fonctionnement des interrupteurs se trouvant dans de grandes usines génératrices peuvent quelquefois être tout à fait semblables à celles des essais aux laboratoires mentionnés ci-dessus.

Ces conclusions ont été tirées des relevés obtenus avec un oscillographe cathodique (1) au cours d'essais de rupture avec une paire de contacts. La fréquence propre du réseau a été modifiée au moyen de l'inductance variable branchée en série en différents endroits de la ligne. La figure 19 reproduit l'oscillogramme relevé avec l'appareil Dufour de la rupture d'un courant efficace de 1160 A. L'axe des temps est ici une sinusoïde à 100 p:s ; la fréquence propre du réseau f_1 est égale à $1\,080$ p:s. A l'avant-dernière extinction de l'arc (7) on voit la tension de réamor-

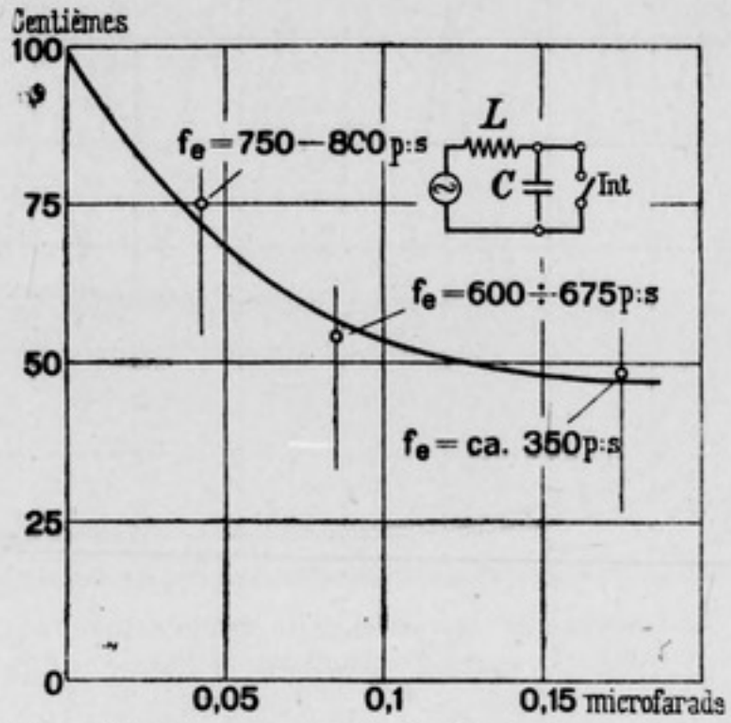


Fig. 18. — Courbe montrant la diminution de la durée de l'arc avec la décroissance de la fréquence propre du réseau.

çage E_{r7} qui se rétablit en effectuant une oscillation de fréquence f_1 jusqu'à ce que la disrupture ait lieu au bout d'un temps t_{r7}. Après l'extinction définitive de l'arc (8), la tension de rupture effectue une oscillation en atteignant une amplitude de 12,75 kv. L'oscillogramme donne pour les intervalles successifs t_r les valeurs suivantes :

$t_{r1} = 0{,}000008$ s	$t_{r5} = 0{,}000086$ s
$t_{r2} = 0{,}000010$ s	$t_{r6} = 0{,}000145$ s
$t_{r3} = 0{,}000020$ s	$t_{r7} = 0{,}000240$ s
$t_{r4} = 0{,}000026$ s	t_{r8} = extinction

On voit ainsi que la valeur $t_1 = \frac{1}{4 f_1} = 0{,}000232$ a été légèrement dépassée. Cependant l'oscillation de la tension de rallumage jusqu'à la valeur parfois presque double de l'amplitude de la tension de rupture semble avoir peu d'influence sur la durée de l'arc. L'oscillogramme de la figure 20 montre que, lorsqu'une oscillation de fréquence plus élevée, dans notre cas $f_1 = 14700$ p:s, est superposée à la tension de rallumage, le réamorçage d'arc ne se produit pas nécessairement à la première amplitude maximum, mais quelquefois avec un certain retard. Ainsi, à l'avant-dernière extinction (8) la première amplitude de la tension de rallumage dépasse la

(1) La collaboration de M. Matthey-Doret, ingénieur, m'a été très précieuse.

valeur de la tension au moment même du réamorçage, qui se produit avec un retard de 0,000 6 s. A l'extinction définitive (9), la tension de rupture atteint en

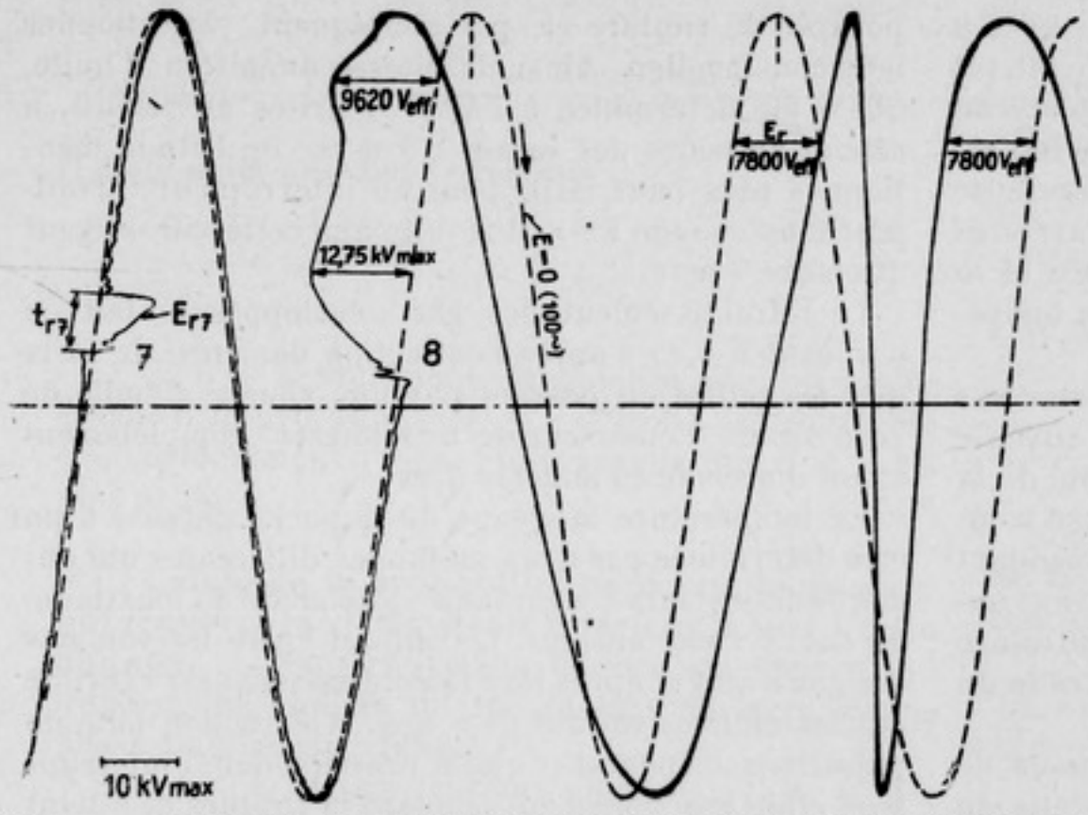


Fig. 19. — Relevé à l'oscillographe cathodique de la tension de l'arc au cours d'une rupture sous 7800 volts : t_{r7}. intervalle de temps entre extinction et réamorçage d'arc ; 8, extinction définitive de l'arc. La fréquence propre du circuit f_1 est de 1080 p : s. L'axe des abscisses est une sinusoïde à 100 p : s.

cependant, la chute dans l'arc étant plus importante, l'énergie dégagée par unité de volume est aussi plus grande, de sorte que la température de la gaine, tant que l'arc existe, doit atteindre, d'autre part, des valeurs plus élevées. La tension disruptive diminue de ce fait et l'influence de l'augmentation de la pression peut être, non seulement contre-balancée, mais même dominée par ce second facteur Le refroidissement de la gaine et la diminution de son ionisation au moment du passage du courant par zéro, peuvent, par contre, intervenir plus efficacement, par suite d'une plus grande différence de température entre les gaz ambiants et la gaine. Si la pression enregistrée ne présente pas de diminution, c'est que la température moyenne de la bulle n'est sans doute pas influencée par le refroidissement de la gaine ionisée. Cette dernière ne représente d'ailleurs qu'une fraction relativement faible, en volume et surtout en masse, des gaz portés à plusieurs milliers de degrés, et son refroidissement reste sans grande influence sur la température moyenne de la poche gazeuse.

Pour une rapide extinction de l'arc, il est nécessaire de réduire l'ionisation de la gaine avant que la tension disruptive soit atteinte et la tendance actuelle est d'utiliser les pauses pendant lesquelles l'arc proprement dit n'existe pas pour agir énergiquement sur la gaine.

oscillant 16000 v, sans que pour cela la durée de l'arc soit plus élevée que lors des oscillations avec une fréquence f_1 comprise entre 1000 et 1500 p : s.

Il est intéressant de souligner à nouveau que la pression dans l'interrupteur atteint généralement son maximum au moment où se produit l'extinction définitive de l'arc, comme le montrent clairement les oscillogrammes des figures 13 et 14. Or, on peut admettre que, pendant le temps très court du passage du courant par les valeurs voisines de zéro, la pression varie proportionnellement à la diminution de la température moyenne absolue de la poche gazeuse

$$p = c\,T,$$

puisque le dégagement de la chaleur et, par suite, la formation des gaz nouveaux sont négligeables. Si donc, comme nous le disions plus haut, l'extinction de l'arc se produisait surtout sous l'effet du refroidissement, on devrait s'attendre à ce que la pression passe par un minimum ou qu'en tout cas une diminution de pression bien marquée soit visible.

La contradiction apparente de cette théorie avec les résultats d'essais s'explique de la manière suivante : d'une part, la tension disruptive de la gaine ionisée croit avec l'augmentation de la pression ;

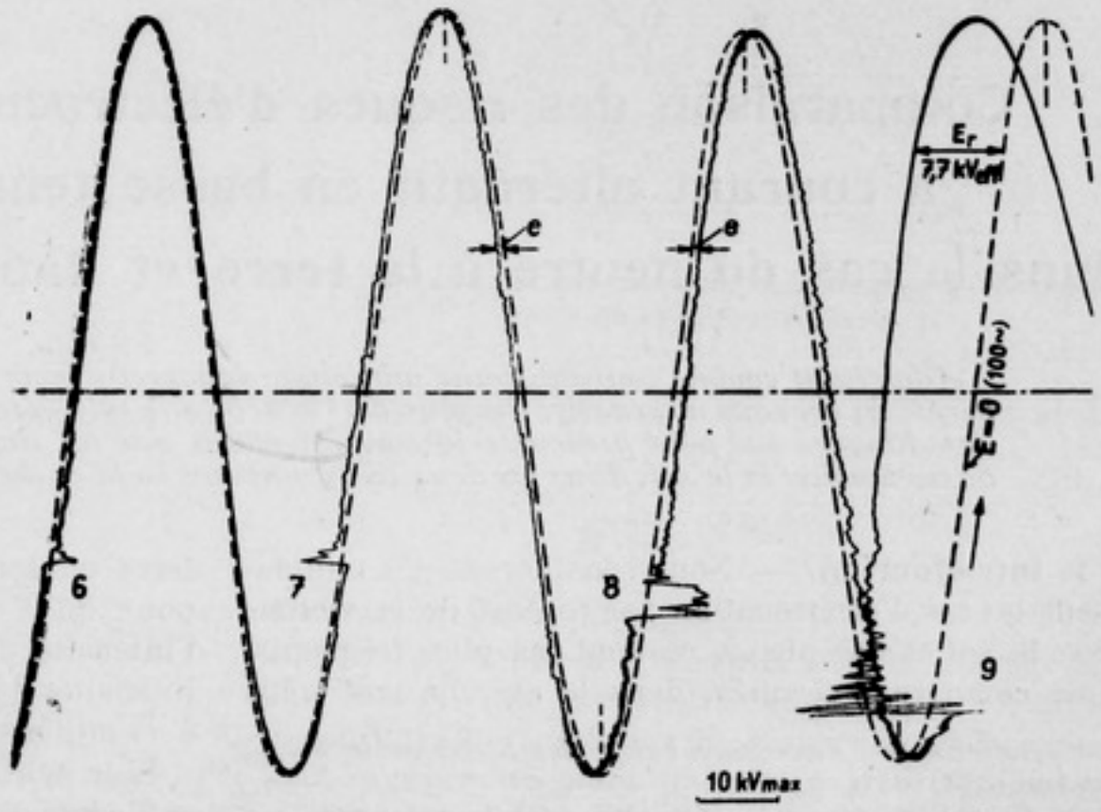


Fig. 20. — Relevé à l'oscillographe cathodique de la tension de l'arc au cours d'une rupture sous 7800 volts : e, tension de l'arc ; 6, 7, 8, sixième, septième et huitième réamorçages d'arc. La fréquence propre du réseau f_1 est égale à 14700 p : s superposée à 1080 p : s.

VI. **Conclusions**. — Les résultats des recherches décrites dans cet article, ainsi que les connaissances acquises par des essais méthodiques sur les propriétés

de l'arc alternatif dans l'huile (1) permettent de faire une étude très approchée du processus de coupure dans les disjoncteurs à puissance de rupture élevée. Ainsi, les calculs et les graphiques établis pour un interrupteur triphasé travaillant sous 200 000 kv-a à 15 kv montrent que la vitesse du piston d'huile atteint au maximum 5 m:s (2). D'après cette étude le niveau du liquide ne présenterait pas d'incurvation importante, de sorte que la formation d'une cheminée gazeuse semble être impossible. Les gaz engendrés n'arrivent qu'après un temps de 0,4 à 0,6 s à la surface et se sont, par conséquent, déjà refroidis jusqu'à la température de l'huile.

Ajoutons encore que quand la rupture s'effectue sur un seul pôle d'un interrupteur triphasé à une cuve, le piston d'huile se forme en premier lieu du côté de la phase en court-circuit. La surface du liquide se trouvant au-dessus des poches gazeuses ne sera cependant que légèrement inclinée puisque l'huile se trouvant au-dessus de la phase voisine sera forcément entraînée dans le mouvement et sa surface restera liée à celle du piston d'huile.

Des différentes théories faites sur le processus de rupture dans un interrupteur à bain d'huile, celle du « piston d'huile » explique le mieux les phénomènes observés au cours des essais à grande puissance de rupture. Au moyen de prises de vues cinématographiques au ralenti, il a été possible de déterminer les différents coefficients qui interviennent dans le calcul des contraintes des interrupteurs. En se servant de ces résultats et en se basant sur les connaissances acquises par des recherches méthodiques sur les propriétés de l'arc dans l'huile, on peut se faire une idée assez exacte des conditions du fonctionnement des disjoncteurs à grand pouvoir de rupture et, par conséquent, perfectionner leur construction. Ainsi, la vitesse du piston d'huile, qui a été déterminée à l'aide de prises au ralenti, a atteint au cours des essais 1,8 m:s; de l'étude mentionnée plus haut, faite pour un interrupteur travaillant sous 200 000 kv-a, il résulte que cette vitesse peut atteindre 5 m:s.

Le refroidissement des gaz développés se fait en 0,1 jusqu'à 0,25 s après l'extinction des arcs, de sorte que les bulles en passant par une couche d'huile de 10 à 20 cm d'épaisseur se refroidissent complètement avant d'arriver au matelas d'air.

La température moyenne de la poche gazeuse a pu être déterminée par deux méthodes différentes qui ont donné des valeurs concordantes atteignant au maximum de 800 à 1 000° absolus. Le rapport entre les volumes des gaz avant et après leur refroidissement est exprimé par les chiffres variant de 2 à 4. Abstraction faite de pulsations, on peut dire que la pression dans l'interrupteur croît graduellement pendant la rupture et atteint son maximum le plus souvent à la fin de la rupture. L'à-coup de pression du début, qui théoriquement pourrait présenter un certain danger, n'a pas pu être constaté malgré la sensibilité du manomètre employé.

J. Kopeliowitch,
Ingénieur à la Société Brown Boveri et Cie.

(1) *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, 7 septembre 1928, t. XIX, p. 541.

(2) Ce chiffre concorde très bien avec la valeur de 3 à 5 m:s que nous avons calculée il y a quelques années en nous basant sur la mesure de la hauteur à laquelle fut projeté un interrupteur d'un autre type à la rupture d'une puissance de 100 000 kv-a (voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 8 septembre 1927, t. XLVIII, p. 1316).

(3) Cet article ne fait que compléter et préciser dans le cas le plus usuel d'un réseau triphasé à 115/200 v des conclusions souvent exprimées, notamment par M. Boucherot.

Comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif en basse tension 115/200 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé

Admettant comme courant limite minimum dangereux pour l'homme l'intensité de 25 milliampères, en courant alternatif, l'auteur de l'article qui suit détermine et compare les probabilités des dangers que peut présenter le courant établi par un individu entre une ligne triphasée à basse tension et le sol, dans les deux cas du neutre isolé et du neutre à la terre.

I. **Introduction.** — Nous considérons (3) uniquement les cas d'électrocution par contact de la victime avec le sol et une phase, ce sont les plus fréquents. Nous comparons ci-après, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé, les probabilités pour qu'il y ait électrocution, c'est-à-dire pour que l'intensité du courant soit supérieure à la limite des intensités dangereuses qu'on admet généralement égale à 25 milliampères pour le courant alternatif.

Si le neutre est à la terre, la condition nécessaire et suffisante d'électrocution est que la résistance r totale de la victime soit inférieure à $\frac{115}{0{,}025} = 4\,600$ ohms, ce qui est très possible et même probable en hiver et dans certaines circonstances (atmosphère humide, chaussures mouillées, mains moites).

Si le neutre est isolé, le calcul indiqué plus loin montre :

1° Qu'il n'y aura certainement pas électrocution si, en désignant par r la résistance totale de la victime et par r_1, r_2, r_3 les résistances d'isolement de chaque phase, on a

$$R + r > \frac{200}{0{,}025} = 8\,000 \text{ ohms},$$

R étant déterminé par la relation

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}.$$

2° Qu'il y a seulement probabilité plus ou moins grande d'électrocution si $R + r < 8\,000$, la probabilité étant évidemment d'autant plus grande que $R + r$ est plus petit.

II. **Calcul de la probabilité pour que le courant qui traverse la victime soit inférieur à une limite donnée.** — Nous rappelons le calcul du courant qui traverse une victime interposée entre la terre et une phase d'un réseau triphasé (1).

Soient e_1, e_2, e_3, les tensions étoilées; u_1, u_2, u_3, les potentiels par rapport au sol des trois conducteurs; u_0 celui du point neutre;

$$g_1 = \frac{1}{r_1}, \quad g_2 = \frac{1}{r_2}, \quad g_3 = \frac{1}{r_3},$$

les conductances entre phase et sol. Les lois d'Ohm et de Kirchhoff donnent les relations vectorielles

$$u_0 = u_1 - e_1 = u_2 - e_2 = u_3 - e_3,$$

$$g_1 u_1 + g_2 u_2 + g_3 u_3 = 0.$$

d'où

$$u_0 = \frac{g_1 e_1 + g_2 e_2 + g_3 e_3}{G},$$

avec

$$G = g_1 + g_2 + g_3,$$

qui définit le vecteur U_0 représentant le potentiel du sol par rapport au point neutre.

Le potentiel de la phase A est

$$u_1 = u_0 + e_1 = \frac{g_2 (e_1 - e_2) - g_3 (e_3 - e_1)}{G}$$

ou (fig. 1)

$$- \text{AO}' = \frac{g_2 \times \text{BA} - g_3 \times \text{AC}}{G}.$$

On voit que le point O′ qui représente le sol est toujours du même côté que B par rapport à AC; AC étant un côté quelconque ce point est toujours à l'intérieur du triangle.

Si une victime s'interpose entre la phase A et le sol, sa conductance propre $g = \frac{1}{r}$ s'ajoute à g_1; le potentiel de A devient :

$$u'_1 = \frac{g_2 \times \text{BA} - g_3 \times \text{AC}'}{G + g} = u_1 \times \frac{G}{G + g}.$$

Le courant qui traverse la victime est

$$i = g u_1' = u_1 \times \frac{G g}{G + g} = \frac{u_1}{R + r}.$$

Il est figuré par le vecteur $\text{A}\omega$ tel que

$$\text{A}\omega = \frac{\text{AO}'}{R + r}.$$

Nous avons admis que le courant de 25 milliampères est la limite inférieure des intensités dangereuses du courant. La victime ne sera pas en danger si

$$\text{A}\omega = \frac{\text{AO}'}{R + r} < 0{,}025,$$

AO′ étant évalué en volts, $R + r$, en ohms. Comme O′

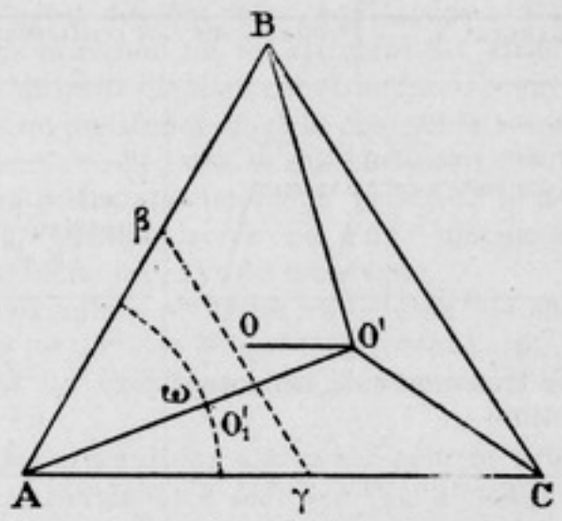


Fig. 1. — Diagramme des tensions simples et composées dans un système triphasé.

peut occuper tout point du triangle ABC, il faut et il suffit que

$$\frac{V}{R + r} < 0{,}025,$$

V étant la tension entre phase.

C'est la condition que nous avions donnée pour $V = 200$ v. Pour des valeurs quelconques de R et de r, le courant est figuré par un vecteur dont l'extrémité peut occuper un point quelconque du triangle $\text{A}\beta\gamma$ homothétique du triangle ABC dans le rapport $\frac{1}{R + r}$; on peut admettre, ce qui est vraisemblable, que le point O qui représente le potentiel du sol avant l'électrocution puisse occuper avec une égale probabilité n'importe quel point du triangle ABC, c'est-à dire que toutes les valeurs relatives de r_1, r_2, r_3 sont également probables.

(1) A. Maudcit. *Installations électriques à haute et basse tension*, édité par la librairie Dunod (1926).

Dans ces conditions, la probabilité pour qu'il y ait accident est égale à l'excès de l'aire du triangle $A\beta\gamma$ sur l'aire du secteur de cercle de centre A et de rayon égal à 0,025, rapporté à l'aire du triangle $A\beta\gamma$.

On peut rendre la comparaison plus apparente en figurant sur le plan, rapportées à deux axes de coor-

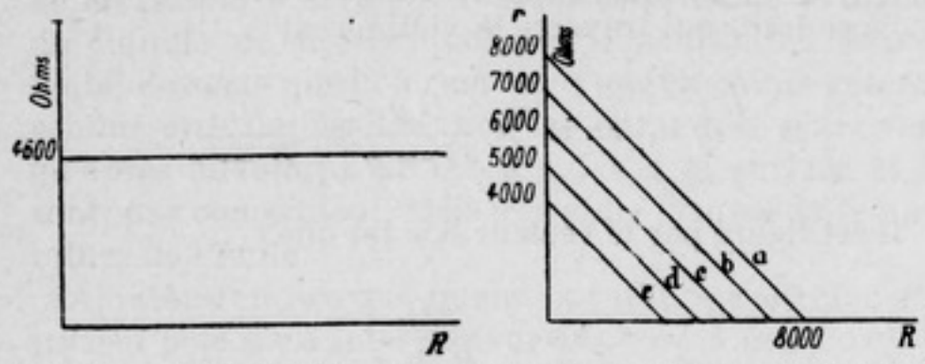


Fig. 2. — Courbes des variations de la résistance r de la victime en fonction de la résistance R d'isolement du réseau à probabilités d'électrocution constantes : à gauche, neutre isolé ; à droite, neutre à la terre ; probabilités d'électrocution : a, 0 pour 100 ; b, 8,3 pour 100 ; c, 32,9 pour 100 ; d, 53,4 pour 100 ; e, 70,2 pour 100.

données correspondant à r et R, les régions où les courbes correspondent à des probabilités d'électrocution constantes (fig. 2).

III. **Probabilités pour que le courant dépasse 25 milliampères, limite des intensités dangereuses.** — Si on admet que les résistances des phases ont des chances d'être du même ordre de grandeur et que, par suite, le potentiel du neutre est probablement voisin du centre du triangle, les risques d'accident sont plus faibles que ceux que donne le calcul précédent.

La résistance d'isolement d'une phase (1), pour un réseau médiocrement isolé, est en moyenne de 30 000 ohms et ne tombe qu'accidentellement au-dessous de 9 000 ohms. La résistance R est donc en moyenne, pour un réseau médiocre, de 10 000 ohms et ne tombe qu'accidentellement à moins de 3 000 ohms. La comparaison des graphiques montre que, *même pour un réseau médiocre, l'isolement du neutre réduit les risques d'électrocution.*

Mais le point essentiel est que, dans le cas du neutre à la terre, on ne peut réduire les risques d'accident, tandis qu'on peut les réduire à zéro dans le cas du neutre isolé en maintenant par une surveillance très stricte l'isolement du réseau supérieur à un minimum de 25 000 ohms par phase, ce qui est très réalisable. On pourrait même envisager, comme l'a proposé M. Boucherot, l'emploi de signaux d'alarme ou de disjoncteurs fonctionnant automatiquement si l'isolement tombe en-dessous de ce minimum (1).

Tableau I. — *Probabilités, en centièmes, des cas dangereux suivant les conditions du réseau triphasé.*

Résistance totale de la victime	Neutre isolé		Neutre à la terre	
	Intensité du courant supérieure ou égale à 25 mA	Intensité du courant supérieure ou égale à 50 mA	Intensité du courant supérieure ou égale à 25 mA	Intensité du courant supérieure ou égale à 50 mA
1 500 ohms très mauvais isolement de la victime	63	42	$\left(\text{courant} = \frac{125}{1\,500} = 83\ \text{mA}\right)$ 100	100
3 000 ohms mauvais isolement	37,5	4,1	(courant = 41,5 mA) 100	0
5 000 ohms isolement normal par temps humide	8,2	0	(courant = 25 mA) 100	0
6 000 ohms	4,1	0	(courant = 20,7 mA) 0	0
7 000 ohms et au-dessus	0	0	0	0

Nous avons vérifié expérimentalement ces conclusions par la lecture d'un voltmètre branché entre la terre et chacune des phases d'un réseau alternatif à basse tension et à neutre isolé, desservant des ateliers et chantiers de constructions navales. Pour une résistance de 1 500 ohms du voltmètre (résistance d'une victime

(1) Par exemple, par l'emploi d'un relais ampèremétrique à courant continu et d'une pile placée en série entre le sol et le neutre. Un relais voltmétrique placé entre terre et neutre serait inefficace dans le cas où l'isolement des trois phases serait également défectueux.

(1) Compte tenu de tous les appareils, lampes, machines, etc., en service.

placée dans des conditions exceptionnellement mauvaises) le nombre des cas pour lesquels la mise à la terre du neutre eût diminué le courant a été de 0 pour 100 ; le courant eût été augmenté dans tous les autres cas, soit 100 pour 100 ; pour 3000 ohms (résistance d'une victime placée dans de mauvaises conditions) il a été de 4,1 pour 100 ; pour 6000 ohms (conditions normales) il a été de 4,1 pour 100.

Le tableau I permet de comparer le nombre de cas dangereux (intensité du courant supérieure à 25 milliampères) dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé. Nous avons indiqué en outre le nombre de cas probablement mortels (intensité du courant supérieure à 50 milliampères).

On voit que même pour un réseau médiocrement isolé, comme celui des chantiers de constructions navales (atmosphère humide et salée), la mise à la terre du neutre augmente les risques d'accident.

Nous n'avons envisagé que les cas d'électrocution par contact de la victime avec une phase et le sol. Ce sont les plus fréquents Les deux types de réseaux sont équivalents au point de vue des risques d'électrocution par contact avec deux phases. Quant aux accidents par contact dans un transformateur entre la haute et la basse tension, l'expérience montre qu'ils sont très rares ; le danger serait d'ailleurs considérable dans les deux cas.

G. Burin des Roziers,
Ingénieur du Génie maritime.

Revues, analyses et informations

La protection contre la foudre (1).

1. Introduction. — Dans le but de mettre au point les diverses données relatives à cette question, les deux institutions américaines bien connues, The american Institute of electrical Engineers et The national Bureau of Standards ont été chargés de réunir tous les renseignements techniques permettant d'instituer un code type des méthodes qui doivent être appliquées pour la protection contre la foudre.

Leur travail a été divisé en cinq parties. Les trois premières sont relatives à la protection des personnes et à celle des constructions en général et les deux dernières parties traitent de la protection des machines électriques et des lignes et font l'objet d'une seconde brochure intitulée : « La protection des circuits et équipements électriques contre la foudre ».

2. Protection des personnes et des batiments en général. — 1° *Protection des personnes.* — Le chapitre traitant de la protection des personnes se borne à quelques conseils relatifs à ce que l'on doit faire pendant les orages : rester dans les endroits secs, loin de tout objet métallique important ; si possible trouver un refuge à l'intérieur des constructions métalliques ou dans celles qui sont surmontées d'un paratonnerre. S'il est inévitable d'être au dehors, éviter les habitations isolées et surtout les arbres isolés, ainsi que les lieux élevés ; rechercher au contraire les dépressions de terrain.

2° *Protection des bâtiments en général.* — La protection des bâtiments est plus longuement étudiée. Les statistiques ont en effet montré que les accidents mortels dus à la foudre sont très rares, tandis que les dégâts occasionnés par la foudre sur les bâtiments le sont beaucoup moins. Aux Etats-Unis, ces derniers sont évalués à environ 15 millions de dollars par an.

L'efficacité des paratonnerres paraît suffisamment démontrée par la pratique, puisqu'on compte seulement un bâtiment protégé par 58 atteints par la foudre ; il est d'ailleurs probable que, le plus souvent, l'installation de protection des bâtiments munis d'un paratonnerre et non épargnés était défectueuse en quelque point. Un seul défaut suffit en effet pour diminuer considérablement l'efficacité du dispositif de protection.

Dans l'étude de cette protection, diverses considérations d'ordre général doivent être envisagées : fréquence des orages dans la région où le bâtiment est situé, nature des matériaux entrant dans sa construction ou abrités par elle. C'est ainsi qu'un atelier dont la charpente serait en bois et la couverture, en briques, et qui abriterait des machines en acier devrait être spécialement protégé. Il en serait de même d'une grange isolée ou d'une maison située en un point élevé dans un pays de montagne.

Les constructions actuelles en béton armé sont bien protégées, car les tiges de fer qui constituent l'armature forment en général un excellent écran contre les décharges extérieures.

Toutes les précautions à prendre pour la protection d'un bâtiment se ramènent à faciliter l'écoulement de l'électricité vers la terre. Si la construction est peu importante, une tige métallique mise au sol pourra suffire ; si sa surface est très importante, on pourra l'entourer d'un anneau métallique ininterrompu relié au sol en plusieurs points et muni de pointes suffisamment hautes.

L'expérience a montré que l'action d'un paratonnerre s'étend à tout l'espace limité par un cône ayant pour sommet celui du paratonnerre et pour base un cercle dont le rayon est de deux à quatre fois la hauteur totale du paratonnerre. C'est ainsi qu'un clocher d'église protège non seulement cette dernière, mais aussi un certain nombre des maisons voisines.

Quand la construction à protéger est importante, il peut être avantageux de prévoir deux prises de terre situées aux deux extrémités opposées du bâtiment. Cette disposition évite, en effet, tout échauffement exagéré au passage de la décharge dans la terre ; elle évite également que la décharge traverse les fondations, ce qui pourrait être dangereux pour ces dernières. Lorsqu'il y a plusieurs terres, il est toujours recommandé, pour cette raison, de relier entre eux les conducteurs qui y aboutissent. Ces conducteurs doivent, bien entendu, être en métal résistant à toutes les intempéries.

On trouve dans cette partie de la première brochure toute une série de définitions et de termes techniques rela-

(1) *Miscellaneous Publication of the Bureau of Standards*, n° 92, 114 pages, 59 000 mots, 3 figures et n° 95, 137 pages, 3 000 mots, 7 figures.

tifs au sujet, ainsi que diverses considérations sur les conditions auxquelles doivent satisfaire les divers éléments d'un système de protection en ce qui concerne leur nature et leurs dimensions.

Signalons, à ce propos, la grande importance des prises de terre. Si le sol a une résistivité normale (de l'ordre de 200 à 5000 ohms-cm) il suffit d'enterrer les conducteurs à 3 m de profondeur ; la résistance est alors de 20 à 50 ohms et deux conducteurs sont presque toujours très suffisants. Si le sol est rocailleux, il faut le recouvrir d'une sorte de réseau posé sur le sol entourant la construction à protéger ; de plus, le contact entre la connexion de mise à la terre et la terre elle-même doivent être telles que le courant ait tendance à s'éloigner de la construction plutôt que de s'en rapprocher, ce qui introduirait des dangers d'incendie.

Pour les constructions spéciales telles que les réservoirs d'eau, les silos, etc., des précautions particulières doivent être prises. Les bâtiments contenant des matières inflammables et n'ayant pas de toiture métallique devront être recouverts d'un filet métallique à mailles relativement serrées, mis à la terre. Avec ce système de protection, l'efficacité augmente avec la distance du filet au-dessus du toit et diminue lorsque les dimensions des mailles augmentent. En pratique, des mailles de 2 m paraissent donner de très bons résultats.

La protection des navires, des hangars pour dirigeables, des avions et des ballons est également envisagée dans ce travail. Il en est de même de celle des arbres qui peuvent avoir une valeur particulière ou, plus simplement, sont très utiles pour protéger le bétail en pleins champs. Il n'est alors pas inutile de les munir d'un paratonnerre ou de fixer sur les diverses branches principales plusieurs tiges métalliques qui seront reliées entre elles et mises à la terre soigneusement.

3° *Protection des réservoirs pour liquides ou gaz inflammables.* — Les statistiques ont montré qu'aux Etats-Unis plus de la moitié (55 pour 100) des incendies de réservoirs de pétrole sont dus aux décharges atmosphériques. Aussi la protection des vastes réservoirs qui sont très employés dans ce pays est-elle sérieusement envisagée. Il y a lieu d'observer quelques précautions fondamentales : il faut, par exemple, non seulement installer un dispositif extérieur de protection, mais veiller encore à l'étanchéité des réservoirs ; éviter la formation de mélanges explosifs entre le liquide et le couvercle ; supprimer toute partie métallique intérieure qui pourrait en se chargeant par induction et en jouant le rôle d'un éclateur provoquer un accident. Enfin ces réservoirs ne devront jamais être construits en des lieux élevés.

3. Protection des circuits et machines électriques. — 1° *Circuits de traction et de transmission d'énergie.* — Les dispositifs généralement employés sont les parafoudres, dans lesquels une partie du circuit dirigée vers la terre n'est pas conductrice à la tension de service, mais le devient pour une tension plus élevée, les bobines d'inductance, qui s'opposent aux variations brusques de tension et en particulier à celles qui correspondent aux décharges atmosphériques plus ou moins éloignées, et le fil de terre qui agit comme un bouclier électrostatique et réduit la valeur de la tension induite sur les conducteurs d'une ligne par une décharge atmosphérique voisine.

Dans les installations de traction, il est essentiel de réaliser les meilleures conditions de protection contre la foudre. La mise à la terre de la voie de roulement facilite en effet beaucoup cette protection. D'autre part, les machines employées sont presque toutes des machines rotatives qui ne peuvent en aucun cas supporter des surtensions élevées. La protection doit d'ailleurs s'exercer sur tout le circuit, car les voitures se déplacent constamment et peuvent se trouver au moment d'un orage en un point quelconque du circuit. Enfin les pénalités très fortes qui sont entraînées, généralement pour toute interruption du service, sont une raison supplémentaire pour que la protection soit la meilleure possible.

Sur ces circuits ce sont les parafoudres qui sont les plus utilisés. On leur adjoint, parfois, des bobines de choc. Quant aux fils de terre ils sont employés avec succès pour protéger certains feeders ou certaines lignes de travail très exposés, mais ils ne peuvent permettre de s'affranchir des parafoudres.

Dans les usines génératrices et sous-stations, les parafoudres sont placés sur les départs de feeders et de fils de trolley. Ils peuvent être à l'intérieur ou à l'extérieur ; mais il paraît préférable de les placer à l'endroit le plus exposé, c'est-à-dire à l'endroit où les conducteurs quittent le bâtiment. Lorsque les départs ont lieu en câbles souterrains les parafoudres peuvent être supprimés sur ces départs ; il est alors essentiel d'en placer sur les barres de la station (où ils étaient inutiles dans le cas précédent) et à la jonction du câble avec la ligne aérienne. Dans certains cas, il peut être justifié de placer deux ou plusieurs parafoudres en parallèle.

Les lignes peuvent être protégées par des parafoudres placés sur poteaux ou sur la potence supportant la ligne, car il est avantageux de diminuer le plus possible la connexion entre le fil à protéger et l'appareil. Souvent les exploitants estiment cette protection inutile et se contentent d'assurer dans les meilleures conditions celle des usines ou sous-stations et celle des voitures.

Lorsque ces dernières sont en service dans une région exposée aux coups de foudre, il convient de les munir d'un parafoudre qui sera placé, de préférence, à la base du pantographe ou du trolley, sur le toit de la voiture. En général l'addition d'une bobine de choc donne de bons résultats, notamment lorsqu'on utilise un parafoudre à décharges en série (éclateurs à rouleaux, par exemple). Lorsque le parafoudre ne peut être placé sur le toit de la voiture il faut cependant ne pas trop l'éloigner de l'organe de prise de courant, car son efficacité se trouverait assez fortement réduite.

Pour les circuits de transmission d'énergie le problème ne se pose pas tout à fait de la même manière que pour les circuits de traction. Les lignes sont souvent établies dans des régions très exposées aux coups de foudre et leur très grande étendue augmente considérablement les chances d'action de la foudre sur le circuit. Aussi, en pratique, les surtensions d'origine atmosphérique se produisent-elles presque toutes sur les lignes, et très peu sont produites dans les usines ou sous stations.

Aussi est-ce une pratique courante de placer les parafoudres dans ces dernières à l'entrée des lignes aériennes de façon à arrêter les surtensions provenant de l'extérieur. Toutefois, en opérant ainsi, il peut se produire des surtensions importantes aux transformateurs lorsque la distance entre ces derniers et l'arrivée des lignes extérieures est assez grande On emploie alors parfois, pour éviter cet inconvénient, une première série de parafoudres au raccordement des lignes extérieures et une deuxième aux transformateurs ; dans certains cas, on utilise simplement des bobines de choc pour compenser la longueur des circuits à l'intérieur de la station.

Sur les circuits de distribution proprement dits, la protec-

tion doit être soigneusement étudiée; les parafoudres doivent être placés en tous points où se trouve un appareil électrique un peu puissant et le circuit doit être disposé de manière à empêcher le cheminement des ondes le long des conducteurs. La question d'économie conduit souvent à employer des parafoudres de dimensions réduites; en pratique ceux-ci donnent encore de bons résultats. On a d ailleurs constaté que l'utilisation de nombreux parafoudres sur un même circuit réduisait beaucoup le nombre des arcs amorcés sur les isolateurs et augmentait, par suite, la sécurité de service de la ligne.

Sur les circuits à basse tension la protection contre la foudre est inutile. Ces circuits sont en effet généralement très courts et, d'autre part, ils comprennent souvent un conducteur mis à la terre. Au contraire, le raccordement de certaines installations de moteurs puissants sur des lignes à tension de l'ordre de 2 000 à 6 000 v doit comporter des dispositifs efficaces de protection. Le cas est alors analogue à celui des équipements rotatifs des usines de traction. L'absence de transformateur rend en effet l'installation plus vulnérable aux surtensions.

Pour les lignes, l'expérience a montré que la réduction des surtensions induites due aux fils de terre était approximativement la suivante : 30 à 50 pour 100 avec un fil de terre; 50 à 65 pour 100 avec deux; 60 à 75 pour 100 avec trois. Ces valeurs s'entendent dans le cas d'une mise à la terre de chaque support de la ligne. La résistance des isolateurs est d'ailleurs plus grande pour les courants de fréquence élevée que pour ceux de fréquence industrielle; aussi une réduction de 30 pour 100 de la valeur des surtensions correspond-elle, en pratique, à une réduction de 80 à 90 pour 100 du nombre des arcs de surtension sur une ligne bien isolée.

On trouve, dans la brochure dont sont extraits ces renseignements, un certain nombre de données sur les prises de terre, leur réalisation et la mesure de leur résistance.

2° *Circuits de communication télégraphique ou téléphonique et de signalisation.* — Les canalisations aériennes seules doivent être protégées, car les conducteurs en câble armé sont absolument à l'abri, l'armure du câble constituant un écran très efficace contre toute action extérieure. Les appareils de protection sont presque toujours placés à l'entrée des lignes dans les bâtiments.

Les appareils utilisés sont, le plus souvent, constitués par un petit éclateur, soit dans l'air, soit dans le vide, qui dirige vers la terre toute surtension de quelque importance. On ajoute aussi à ces dispositifs des fusibles; mais ces derniers ont plutôt pour but la protection contre les dérivations accidentelles sur les fils des courants des lignes de distribution d'énergie, que la protection contre la foudre.

Les installations de radiocommunication sont particulièrement exposées aux coups de foudre; le paragraphe qui les concerne est cependant très court car la question a fait l'objet d'un chapitre entier du « National electrical Safety Code » édité en 1925. On se borne à rappeler, dans ce paragraphe, l'importance de la mise à la terre des circuits de transmission et de réception, la nécessité d'éviter les connexions de terre trop longues, les coudes brusques, etc. Les parafoudres employés doivent fonctionner aux environs de 500 v et doivent être placés à l'extérieur des bâtiments, à l'entrée du fil d'antenne et à une distance suffisante de toute matière inflammable.

Dans les stations de transmission on doit prévoir un interrupteur mettant l'antenne à la terre lorsque l'installation n'est pas utilisée. Cet interrupteur n'est pas indispensable dans les stations de réception; mais il peut avantageusement compléter la protection par parafoudre. Dans ce cas il est établi pour mettre en court-circuit ce dernier appareil lorsqu'il est en position fermée.

4. Origines, caractéristiques et effets de la décharge atmosphérique. — Jusqu'à Franklin, qui montra, vers 1750, que la foudre et l'étincelle électrique étaient deux phénomènes identiques, les décharges atmosphériques appartenaient au domaine du merveilleux. Des études nombreuses apportèrent par la suite quelques éclaircissements sur la production de ces décharges, mais ce n'est que pendant ces dernières années qu'il a été possible de réaliser des expériences nous fixant avec quelque précision sur leurs caractéristiques principales.

La décharge peut prendre plusieurs aspects et se présenter sous forme de ruban, de trait lumineux, de boules éclairantes; elle peut être droite, en zig zag ou avoir de nombreuses ramifications; plus rarement elle revêt l'apparence d'une nappe lumineuse.

L'aspect en ruban est dû à la succession de plusieurs décharges dont les dernières ont été déplacées par rapport aux premières par l'action du vent ou le déplacement des nuages. L'éclair ramifié est provoqué par la charge simultanée entre un point et plusieurs autres voisins. Les décharges en nappes ne sont pas accompagnées du bruit du tonnerre; elles ne doivent pas cependant être confondues avec les aurores boréales car elles se produisent entre nuages, à faible hauteur, tandis que les aurores se forment dans les régions très élevées de l'atmosphère où les nuages n'existent plus. Le phénomène s'observe en hiver, dans des endroits où les orages sont rares; il dure un certain temps et présente une lente variation d'intensité. Il est très distinct des décharges ordinaires que l'on observe à l'horizon sans percevoir le coup de tonnerre à cause de l'éloignement de la décharge.

Le son qui accompagne les coups de foudre est dû, en grande partie, à l'augmentation de pression produite par l'échauffement des gaz, à leur dissociation et à leur ionisation le long des lignes de force créées par la décharge. Il convient de noter que ce bruit n'est pas perçu, en général, à plus de 25 km, alors qu'un simple coup de fusil s'entend de beaucoup plus loin; la perturbation de l'atmosphère en temps d'orage est peut être cause de ce phénomène.

Des recherches ont été effectuées en vue de déterminer l'origine de la charge statique des nuages et des expériences de laboratoire ont montré qu'une goutte d'eau qui se subdivise pendant sa chute produit une électrisation par frottement contre l'air, ce dernier se chargeant négativement. Le professeur Lenard a prouvé qu'une goutte d'eau d'un diamètre supérieur à 5,5 mm est instable; elle se fractionne rapidement. D'autre part, la vitesse de chute maximum des gouttes de diamètre inférieur à 5,5 mm est de 8 m:s. Il en résulte que les gouttes de pluie produisent une charge électrique chaque fois que, sous l'action de courants d'air ascendants d'une vitesse supérieure à 8 m:s, elles se trouvent arrêtées dans leur chute après être tombées librement pendant un certain temps. Une masse d'eau peut d'ailleurs être brisée un très grand nombre de fois avant d'atteindre le sol et prendre en définitive une charge positive très élevée. Les ions résultant de l'ionisation de l'air sont rapidement captés par les nuages supérieurs qui se chargent ainsi négativement. On voit que la pluie provenant de ces derniers pourra très bien, par suite, être électrisée de signe contraire à celle qui a produit la charge initiale; c'est ce qui explique que l'on ait pu observer l'électrisation négative

des gouttes de pluie aussi bien que leur électrisation positive.

Des charges électriques peuvent être produites par la séparation d'éléments d'une autre substance, par exemple la neige. Mais la séparation entre les charges positives et négatives se fait alors très rarement, si bien que le plus souvent l'éclair ne se produit pas dans ce cas.

Les expériences les plus récentes conduisent à admettre que le gradient de potentiel atteint dans un coup de foudre est de l'ordre de 300000 v: m. On estime d'autre part que l'énergie dissipée par seconde est de 10^8 à 10^9 w. Enfin le courant est estimé à plusieurs milliers d'ampères.

On a pu réaliser en laboratoire des décharges de 10000 a sous 2×10^6 v et obtenir des effets très analogues à ceux de la foudre. La durée d'une telle décharge est d'environ 3×10^{-3} s. — B. E.

L'électricité dans l'industrie de l'imprimerie (1).

1. Transmission du mouvement aux machines. — La mise au point des moteurs électriques de faible puissance à rendement élevé, de bas prix et de fonctionnement certain, a entraîné la suppression dans les installations modernes des anciennes transmissions par arbres de renvoi qui avaient, entre autre, l'inconvénient d'imposer un emplacement défini des machines dans les ateliers.

Pour certaines machines dont l'outil tourne à très grande vitesse, 10000 à 15000 t:mn, on emploie des moteurs de faible puissance à axe vertical atteignant l'arbre porte-outil par pignon d'angle. Pour les moteurs de plus grande puissance employés pour les presses en blanc ou à retiration, les massicots, etc., la transmission du mouvement se fait par courroies ou par chaines. Ce dernier moyen permet d'utiliser des moteurs à plus grande vitesse, donc moins coûteux et de meilleur rendement. En général, la puissance requise par les machines entraînées varie proportionnellement à la vitesse, ce qui ne correspond pas à la caractéristique d'un moteur électrique à vitesse variable par réglage au moyen de résistances en dérivation. Si la puissance d'un tel moteur est déterminée d'après celle nécessaire à la grande vitesse, elle sera beaucoup trop forte à la petite vitesse. On est ainsi conduit à adopter un réglage de la vitesse par système Ward-Léonard, ou par l'emploi de deux moteurs, ou enfin à utiliser un système mécanique de changement de vitesse. Parmi ces derniers on peut citer le système à changement de vitesse progressif au moyen de poulies extensibles et de chaines spéciales dont les maillons engrènent dans des cannelures de formes correspondantes de ces poulies. Un autre système comprend une série de roues dentées, de diamètres différents, montées sur un axe et taillées avec les mêmes dents, engrenant avec un pignon assez long pour attaquer simultanément deux roues; ce dernier peut coulisser sur un arbre faisant avec l'axe des roues un angle tel que l'engrènement du pignon et de l'une quelconque des roues soit satisfaisant.

2. Effet de la nature du courant sur le type des moteurs. — Si l'on dispose d'une distribution en courant continu, la commande des grosses presses comporte généralement un petit moteur de faible puissance pour la mise au point et la préparation du travail et un moteur de grande puissance pour la marche normale. Le développement des réseaux de distribution en courant alternatif a posé quelques problèmes nouveaux pour la commande électrique des presses par moteurs à vitesse variable. Dans le cas de réseau monophasé on a eu recours à l'emploi de groupes convertisseurs. En courant alternatif triphasé l'emploi de moteurs à collecteur tend à se développer de plus en plus; pour les grandes presses rotatives, on a recours à la combinaison, comme en courant continu, d'un moteur de faible puissance et d'un moteur de grande puissance. Le système Ward-Léonard n'a reçu que des applications limitées.

3. Appareillage. — Dans toutes les installations modernes, la mise en route, l'arrêt et le réglage de la vitesse des moteurs sont commandés par boutons poussoirs. Comme il existe souvent plusieurs points de commande pour une même machine, il faut prévoir un dispositif de verrouillage empêchant les fausses manœuvres. Un système de signalisation optique est parfois adjoint aux coffrets de manœuvre. L'appareillage employé dans ces installations ne présente pas de particularités. Ce n'est que dans l'établissement des schémas des circuits de commande et leur réalisation que la connaissance pratique des nécessités de cette industrie intervient. On peut citer dans ce sens les tableaux de commande des presses rotatives doubles, qui doivent permettre aux deux moitiés de la presse de fonctionner soit indépendamment l'une de l'autre, soit en conjugaison. — J. S.

(1) Justus Eck. *World Power*, octobre et novembre 1929, t. XII, p. 345-350 et 442-446, 3000 mots, 31 figures.

Choix de la puissance des compensateurs synchrones dans les sous stations de l'« Elektrotok » (1).

L'auteur expose les méthodes de calcul qui ont été employées pour déterminer la puissance minimum nécessaire des compensateurs synchrones du réseau de l'« Elektrotok », desservant en particulier la ville de Pétrograd. Le choix et l'installation des compensateurs synchrones dépendent de la régulation de la tension du réseau, de son facteur de puissance et des pertes dans les lignes de transmission. Ces compensateurs doivent donc pouvoir s'adapter aux conditions d'exploitation convenant aux réseaux déjà existants et aux stations génératrices fonctionnant en parallèle. Ils travaillent en survolteurs ou en dévolteurs et sont utiles surtout lorsque plusieurs usines fonctionnent couplées en parallèle. L'auteur donne des exemples de couplage qui se présentent dans la pratique et énumère les inconvénients et avantages de chacun. De cette étude, il ressort que les conditions de puissance minimum des compensateurs synchrones, quand plusieurs usines travaillent en parallèlle, ne peuvent être remplies que dans chacun des cas suivants : 1° la tension est maximum aux barres des usines génératrices ; 2° les usines travaillent à pleine charge ; 3° une partie des usines travaille à pleine charge et l'autre partie, à tension maximum. En résumé, la puissance minimum nécessaire des compensateurs synchrones a pour expression

$$MVA_{CS} = MW_R (\mathrm{tg}\,\varphi_R - \mathrm{tg}\,\varphi_T),$$

formule dans laquelle MVA_{CS} est la puissance des compensateurs ; MW_R est la puissance active du réseau ; φ_R, le déphasage relatif au réseau et φ_T, le déphasage relatif aux transformateurs. Le réseau de l'« Elektrotok » a été établi dans les conditions optima précitées, de sorte que les compensateurs synchrones sont utilisés au mieux et ont la puissance minimum suffisante pour le réseau. On trouve dans l'article quelques détails particuliers au rêseau de l'Elektrotok et les divers projets d'extension de ce réseau. — I. F.

(1) E.-E. Nakhmanson. *Isvestia Elektrotoka*, supplément de *Elektritchestvo*, n° 17-18, septembre 1929, p. 169-182, 7000 mots, 12 figures, 3 tableaux.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société des Forces du Fier.

ASSEMBLÉES GÉNÉRALES EXTRAORDINAIRES DES 19 JUILLET 1928 ET 9 AVRIL 1929 ET ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU 9 AVRIL 1929.

Au cours de l'année 1928, cette société, dont le capital actuel est de 8 750 000 fr et dont le siège social est à Annecy, a tenu quatre assemblées générales. Les résolutions prises dans les trois premières de ces assemblées ont été indiquées antérieurement dans ces colonnes (1). Des rapports présentés à la quatrième ainsi qu'aux deux assemblées générales du 9 avril 1929, rapports qui viennent de nous parvenir, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Dans l'assemblée extraordinaire du 19 juillet 1928 a été ratifiée l'augmentation de capital de 2 500 000 fr, votée par l'assemblée générale du 4 avril 1928 et réalisée par l'émission de 5 000 actions faite dans le courant de juin.

L'assemblée extraordinaire du 9 avril 1929 avait pour objet de porter le capital à 12 500 000 fr par l'émission de 10 000 actions d'une valeur nominale de 500 fr sous forme d'actions ordinaires et d'actions à vote plural. Des résolutions prises par cette assemblée nous extrayons les passages suivants :

« L'asemblée générale extraordinaire, sur le rapport à elle fait au nom du conseil d'administration, duquel elle adopte les motifs et conclusions : en vue de conserver à la société son autonomie aussi complète que possible, dans le cadre de ses fondateurs, souscripteurs ou usagers actionnaires, pour écarter toute hégémonie étrangère à sa formation et à son développement régional ;

» 1° Décide que le capital social, aujourd'hui de 7 millions 500 000 fr et dont l'augmentation jusqu'à 10 000 000 fr a déjà été autorisée par elle dans sa délibération du 4 avril 1928 pourra être porté jusqu'à 12 500 000 fr en une ou plusieurs fois, par l'émission de 10 000 actions nouvelles du montant nominal de 500 fr, sur décision du conseil d'administration, aux époques, taux d'émission et conditions qu'il jugera nécessaires et fixera lui-même, d'ici au 31 décembre 1940.

» Les émissions de ces 10 000 actions pourront être faites sous forme d'actions ordinaires du type O ou d'actions à vote plural du type P, au gré et dans les proportions que fixera le conseil d'administration, pour chaque émission partielle.

» 2° Décide l'émission immédiate, dans le cadre de ces 10 000 actions, de 2 500 actions nouvelles de 500 fr du type P, à vote plural, élevant le capital à 8 750 000 fr, cette émission aura lieu contre espèces au taux de 540 fr l'une, la prime de 40 fr et le premier quart devant être versés en souscrivant, et le solde aux époques que fixera le conseil d'administration.

» La souscription des 2 500 actions nouvelles dites actions P sera réservée à raison de 1 action nouvelle pour 6 actions anciennes, aux titulaires d'actions nominatives inscrits sur les registres de la société à la date du 5 avril 1929, et aux titulaires d'actions au porteur ayant déposé leurs titres le 5 avril 1929 au plus tard, en vue de la présente assemblée générale extraordinaire... »

« Le fonds social, primitivement fixé à 500 000 fr, porté en 1904 à 1 200 000 fr, en 1911 à 2 000 000 fr, en 1921 à 5 000 000 fr et à 7 500 000 fr à compter du 19 juillet 1928, s'élève à la somme de 8 750 000 fr chiffre arrêté dans l'assemblée générale extraordinaire du 9 avril 1929.

» Il se décompose ainsi : 15 000 actions de 500 fr, soit 7 500 000 fr en actions ordinaires dites actions O; 2 500 actions de 500 fr, soit 1 250 000 fr en actions à vote plural dites actions P... »

D'après le rapport du conseil d'administration à l'assemblée ordinaire du 9 avril 1929, la production d'énergie électrique pendant l'exercice 1928-1929 a été de 9 millions 870 000 kw-h pour l'usine de Brassilly et de 28 530 000 kw-h pour celle de Chavaroche; la production totale se trouve ainsi inférieure de 8 pour 100 à celle accusée par l'exercice précédent, du fait de la sécheresse des mois de juin, juillet et août 1928; il en est résulté un achat d'énergie plus considérable à l'usine d'Ugine.

La puissance maximum demandée par les réseaux, non compris l'usine Baïkowski fermée aux heures de pointe, a atteint 5 920 kw; dans la journée la plus chargée la quantité d'énergie distribuée s'est élevée à 91 705 kw-h, non compris les envois à Ugine.

A l'usine de Brassilly a été installé, sur le canal d'amenée, un appareil dégrilleur mécanique qui améliore le rendement en période de crues et économise de la main-d'œuvre.

Les travaux du Pré-du-Seigneur ont été poussés activement à la suite de l'installation d'un excavateur électrique puissant, de deux tracteurs à pétrole, de 20 wagonnets de 1 000 litres et de près de 1 200 m de voie de 0,60 m. A la fin de l'année 1928, les terrassements, comportant plus de 50 000 m³, étaient à peu près terminés.

Un groupe électrogène Escher-Wyss-Oerlikon, de 4 500 ch, entièrement neuf et primitivement destiné à Eguzon, a été acheté pour compléter l'équipement de l'usine Chavaroche et permettre de tirer le meilleur parti de la réserve du Pré-du-Seigneur. L'usine sera alors équipée pour 10 500 ch ce qui correspond aux dimensions des canaux et tunnels.

Les extensions de réseaux ont été limitées aux concessions existantes, mais des pourparlers se poursuivent dans d'autres communes, notamment dans la vallée de Thônes.

La société a entrepris la construction des postes à 70 000/5 000 v de Bredannaz (600 kw) et de Cran-Gevrier (4 000 kw) destinés à soulager les lignes à 5 000 v partant de Faverges et de Brassilly et commençant à être trop surchargées.

Le développement de l'usine de la Société d'Electrochimie à Vovray, près Annecy, a amené à prévoir la modification et le renforcement du poste de Faverges en changeant la tension de fonctionnement de la ligne Venthon-Brassilly, qui, bien qu'établie pour 70 000 v, fonctionnait depuis 1918 à 45 000 v seulement.

Le nombre total d'abonnés de lumière desservis directe-

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 16 juin 1929, t. XXIII, p. 1 051-1 052.

ment par la société s'est élevé à 11 685 contre 10 988; celui des abonnés de force motrice a passé de 607 avec 5 566 ch souscrits à 675, avec 5 880 ch.

L'exploitation de la forêt de Saint-Sixt a été commencée dans de bonnes conditions avec un premier contingent de 950 poteaux injectés de belle venue.

Les recettes de l'exercice 1928 se sont élevées à 6 millions 612 409,08 fr; elles se décomposent comme il suit : gaz pour éclairage et chauffage domestiques, 1 032 341,71 fr; gaz industriel, 264 118,32 fr ; coke et sous-produits, 337 715,45 fr; électricité pour l'éclairage, 1 508 498,06 fr: électricité pour force motrice, 2 113 941,35 fr; vente en gros d'énergie électrique, 1 012 680,32 fr; location d'appareils, 276 051,84 fr; recettes diverses, 107 052,03 fr.

Les dépenses ont été de 4 275 459,53 fr, comprenant : frais généraux, 2 131 495,23 fr ; entretien, 1 111 899,10 fr; houille, 723 292,35 fr ; échange d'énergie électrique, 65 000 fr ; dépenses diverses, 243 77 ,85 fr.

Le produit brut de l'exercice se trouve ainsi être de 2 336 949,55 fr. Il en est déduit : pour intérêts d'obligations et d'emprunts, 449 219,60 fr; pour amortissements, 744,994, 20 fr.

Le bénéfice net ressort ainsi à 1 142 735,75 fr. Le report des exercices antérieurs étant de 57 319,49 fr, la somme à répartir est de 1 200 055,22 fr. Sa répartition est la suivante : réserve légale, 57 136,80 fr; intérêt de 5 pour 100 aux actions anciennes, 250 000 fr; aux actions nouvelles, 15 625 fr; tantièmes au conseil d'administration, 81 997,10 fr; dividende supplémentaire de 5 pour 100 aux actions anciennes, 250 000 fr; dividende supplémentaire aux actions nouvelles, 62 500 fr; réserve extraordinaire, 300 000 fr; report à nouveau, 182 796,02 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1928

Actif.

	fr
Frais de premier établissement	662 843,71
Concession gaz	5 000 »
Immeubles et usines :	
Usine à gaz et bureaux	1 265 871,95
Brassilly	1 542 128,09
Chavaroche	9 752 834,24
Divers	435 392,32
Nouvelle chute de Thiou	67 054,92
Nouvelle chute de Borne	2 000 »
Réseaux	3 651 150,63
Branchements et installations gratuites	348 908,69
Appareils en location	828 332,98
Matériel et mobilier	154 850 »
Constructions en cours	80 143,35
Portefeuille	442 905 »
Banque L. Laydernier et Cie	1 128 500,39
Caisse	257 466,88
Actionnaires	1 875 000 »
Débiteurs divers	1 713 366,49
Magasins et approvisionnements	669 618,31
	24 883 367,95

Passif.

	fr
Capital actions	7 500 000 »
Capital obligations 4,5 pour 100	1 865 000 »
Capital bons décennaux	4 000 000 »
Réserve légale	300 282,43
Réserves diverses	1 450 000 »
Amortissements antérieurs	4 893 203,80
Amortissements 1928	744 994,20
Emprunt à court terme	1 997 200 »
Créanciers divers	932 542,30
Bénéfices de l'exercice 1928	1 142 735,75
Reliquat 1927	57 319,47
	24 883 367,95

Compagnie des Eaux et d'Electricité de l'Indochine.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 4 DÉCEMBRE 1929.

Dans son rapport concernant l'exercice 1928-1929, le conseil d'administration de cette société, au capital de 22 millions 500 000 fr et dont le siège est à Paris, 62 bis, avenue d'Iéna, signale que ses exploitations ont continué à se développer d'une façon satisfaisante.

A Saïgon, la ville a décidé de renforcer le captage de Govap par la mise en service de six nouveaux puits, dont le fonçage est en cours et dont l'équipement a été commandé.

A Pnom-Penh, l'installation d'un nouveau groupe de 1 000 kw est en voie d'achèvement; il en est de même pour le renforcement de l'usine des eaux. Le protectorat du Cambodge a passé commande à la compagnie d'un troisième siphon pour la traversée du Tonlé Sap.

A Dalat, le développement de la distribution va nécessiter l'installation d'un nouveau groupe de 200 kw environ.

Les bénéfices d'exploitation, travaux neufs et divers de l'exercice 1928-1929 s'élèvent à 12 920 104,54 fr, contre 12 708 109,06 fr pour l'exercice précédent (1).

La répartition est la suivante : à la réserve légale pour la porter à son maximum de 2 250 000 fr, 114 579,55 fr; 5 pour 100 d'intérêt à 39 000 actions de capital, 975 000 fr; au fonds spécial de prévoyance, 3 500 000 fr ; au conseil d'administration, 833 052,50 fr.

Sur le solde, de 7 497 472,49 fr, augmenté du report de l'exercice précédent s'élevant à 519 057,10 fr, il est attribué : 1° un dividende supplémentaire de 175 fr aux 39 000 actions de capital, soit 6 825 000 fr; 2° un dividende de 175 fr aux 6 000 actions de jouissance, soit 1 050 000 fr. Il reste une somme de 141 529,59 fr, qui est reportée à nouveau.

En conséquence, les 39 000 actions de capital reçoivent chacune un dividende brut de 200 fr et les 6 000 actions de jouissance reçoivent chacune un dividende brut de 175 fr. le tout payable sous déduction des impôts.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Concessions, usines et réseaux	11 306 779,83
En caisse	474 338,54
En banque	4 570 168,62
En portefeuille	9 844 452 »
Débiteurs divers et clients	9 345 020,78
Marchandises en magasins	11 883 601,60
Marchandises en cours de route	1 635 354,20
Cautionnements	197 383,33
Annuités dues par les provinces	189 584,73
Avances aux fournisseurs	243 717,33
Mobilier, matériel en service et en location	1 321 396,27
Acompte sur dividende	4 425 000 »
	55 436 797,23

Passif.

	fr
Capital :	
39 000 actions de capital	19 500 000 »
6 000 actions de jouissance	3 000 000 »
Réserve provenant des prélèvements sur bénéfices :	
Réserve légale	2 135 420,45
Fonds spécial de prévoyance	10 000 000 »
Créditeurs divers	5 667 409,15
Coupons échus et capital amorti non réclamés	1 694 805,99
Report de l'exercice 1927-1928	519 057,10
Bénéfices de l'exercice 1928-1929	12 920 104,54
	55 436 797,23

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 9 février 1929, t. XXV, p. 230.

SECTION DE LÉGISLATION

Exonération de l'impôt foncier en faveur des ouvrages établis pour la distribution de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou à des syndicats de communes

Dans cet article, l'auteur, après avoir rappelé que la loi de dégrèvement de l'impôt foncier du 29 décembre 1929 s'applique aux réseaux de distribution d'énergie électrique appartenant aux communes rurales ou syndicats de communes, montre les difficultés d'application soulevées par cette loi et la complexité des problèmes qui se posent de ce fait.

I. **Le texte de l'article premier de la loi du 29 décembre 1929.** — Les réseaux ruraux n'ont pas été oubliés dans le fameux « train de dégrèvement », approuvé par la Chambre, avant de se séparer à la fin de la cession extraordinaire, et qui a fait l'objet de la loi du 29 décembre 1929, portant dégrèvement d'impôts, et parue dans le « Journal officiel » du 30 décembre 1929.

En effet, l'article premier, est ainsi conçu :

« Sont exempts de la contribution foncière, les ouvrages établis pour la distribution de l'eau potable ou de l'énergie électrique et appartenant à des communes rurales ou syndicats de communes. »

En vertu de ce texte, les communes bénéficiant de ces dispositions n'auront pas à se préoccuper à l'avenir pour tous les ouvrages servant à la distribution de l'énergie électrique, de toutes les controverses qui ont pu s'élever au sujet de l'imposition ou de la non imposition au foncier des divers ouvrages composant les réseaux de distribution d'énergie électrique.

Ce texte, dont nous devons nous féliciter dans son principe, nous paraît devoir soulever de graves difficultés d'application.

II. **Difficultés d'application.** — En premier lieu, que faut-il entendre par « commune rurale ou syndicats de communes »? En effet, il est souvent malaisé de distinguer une commune rurale d'une commune qui ne l'est pas. Aucun critérium n'existe sur ce point et le législateur n'a pas prévu de règlement d'administration publique destiné à préciser la question. On pourrait, par exemple, se référer à l'aptitude ou à la non aptitude de la commune à bénéficier d'une subvention, conformément aux dispositions de l'arrêté du 5 janvier 1924 ou d'une avance à long terme, conformément à loi du 2 août 1923 (1).

(1) Nous faisons grâce à nos lecteurs de tous les textes modificatifs ou complémentaires dont ils pourront trouver la nomenclature en se reportant aux tables des matières de la *Revue générale de l'Electricité*.

On pourrait également admettre comme critérium un pourcentage déterminé de la population. Depuis l'institution des chambres d'agriculture, il existe une possibilité de recensement de la population agricole. Il suffit pour cela de se reporter aux listes électorales aux chambres d'agriculture. Le nombre des électeurs de cette catégorie comparé au nombre total d'électeurs pourrait permettre la discrimination des communes rurales et des communes non rurales.

On remarquera que le législateur a employé les mots « communes rurales ou syndicats de communes ». Ce choix est-il intentionnel ou est-il ou non destiné à permettre à un syndicat de communes comportant une commune urbaine, de bénéficier de l'exonération. Supposons, ce qui se produit quelquefois, que pour faciliter l'électrification d'une région, on crée un syndicat de communes comportant une sous-préfecture et un ensemble de communes environnantes. La sous-préfecture ayant incontestablement un caractère urbain, devra-t-on admettre l'exonération pour toutes les communes composant le syndicat, ou seulement pour les communes rurales, ou au contraire refuser au syndicat, de ce chef, le caractère rural? Ne devrait-on pas, au contraire, appliquer le critérium qui sera admis à l'ensemble des populations desservies en déterminant le caractère rural, eu égard à l'ensemble du syndicat?

On le voit, sur ce point, quelques difficultés sont en perspective. A notre avis, il y a lieu d'admettre un critérium permettant de fixer sans trop de difficulté le caractère rural d'une commune et dans le cas du syndicat, d'appliquer ce critérium à l'ensemble du syndicat.

III. **Complexité des problèmes soulevés.** — Le texte de l'article premier de la loi du 29 décembre 1929, soulève également une autre série de problèmes particulièrement complexes. Si, comme cela est probable, l'Administration des Contributions directes exige pour admettre l'exonération que la commune ait payé l'ensemble des frais de construction du réseau, le texte

nouveau aura pour résultat d'interdire, en fait, les participations prises par les concessionnaires dans les frais de construction des réseaux. En effet, l' « astuce » qui consisterait à indiquer dans les conventions exclusivement le montant de la subvention communale serait vite découverte par l'Administration des Contributions directes, qui mettrait bon ordre à ce procédé de fraude fiscale.

En fait, dans ces conditions, pour bénéficier de l'exonération, il faudrait que la commune fasse construire le réseau entièrement à ses frais, et qu'elle le donne ensuite en location à son concessionnaire, à moins qu'elle ne l'exploite elle-même en régie, ce qui n'est guère à conseiller pour des communes rurales.

Enfin, ce texte, s'applique-t-il exclusivement aux ouvrages de distribution, ou à l'ensemble des ouvrages destinés à assurer la production et la distribution de l'énergie électrique sur le territoire d'une commune? Aucune difficulté lorsque le réseau communal ou intercommunal sera desservi par un grand secteur mais lorsqu'il s'agira d'une commune desservie par une usine génératrice particulière, thermique ou hydraulique, la question se pose et en nous reportant à l'intention du législateur, nous estimons qu'il doit également bénéficier de l'exonération.

Telles sont les principales difficultés que l'article premier de la loi du 29 décembre 1929 portant dégrèvement d'impôts, nous paraît devoir soulever. Il serait souhaitable que l'on se mette rapidement d'accord sur les modalités d'application de ce texte et que la jurisprudence administrative se fixe, afin d'éviter de trop longs errements.

Edgar MICANEL,
Avocat à la Cour d'Appel de Grenoble,
Ingénieur I. E. G.

Législation, jurisprudence, réglementation

Circulaire relative à l'application de l'article 18 du décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à vapeur.

Le « Journal officiel » du 26 janvier 1930 publie, pages 961 à 965, la circulaire, en date du 20 janvier 1930, adressée par le sous-secrétaire d'Etat au Ministère des Travaux publics et aux préfets des départements.

Malgré la longueur de cette circulaire, il nous paraît utile d'en reproduire intégralement le texte en raison de l'intérêt qu'elle présente pour un assez grand nombre de nos lecteurs.

Paris, le 20 janvier 1930.

1. L'article 18 du décret du 2 avril 1926 (1), applicable aux générateurs placés à demeure et aussi, en vertu de l'article 28, aux générateurs mobiles, formule tout d'abord en règle générale que des dispositions doivent être prises pour empêcher, en cas d'avarie à l'une des parties de la surface de chauffe, les retours de flamme et les projections d'eau chaude et de vapeur sur le personnel de service.

Ensuite il spécifie diverses dispositions à prendre à cet effet. Les unes, indiquées sous la lettre (*a*), sont applicables à toute chaudière à vapeur, quelle qu'en soit l'espèce, ainsi qu'à tout réchauffeur d'eau, sécheur ou surchauffeur de vapeur. Les autres, indiquées sous la lettre (*b*), s'appliquent seulement aux chaudières à tubes d'eau et aux surchauffeurs.

Enfin, quelques-unes de ces dispositions, qu'il s'agisse de celles inscrites sous (*a*) ou de celles inscrites sous (*b*), pouvant, à cause des particularités de certains systèmes de chauffage, n'être pas toujours applicables. L'article se termine par un paragraphe portant que, dans le cas de systèmes spéciaux de chauffage, celles des dispositions précédentes qui ne pourraient être appliquées seront remplacées par des dispositions équivalentes, approuvées par le ministre après avis de la Commission centrale des Machines à vapeur et garantissant au moins la même sécurité au personnel.

La présente circulaire a pour objet de compléter, au sujet de l'exécution de ces prescriptions, les instructions données, sous le titre *Orifices des fourneaux des générateurs*, au chapitre V, paragraphe C, nos 30 à 32 de la circulaire du 3 décembre 1926.

I. DISPOSITIONS PRESCRITES SOUS LA LETTRE (*a*). — 2. Les dispositions (*a*) consistent, pour les orifices des foyers, les boîtes à tubes et les boîtes à fumée, dans la réalisation de fermetures solides et établies de manière à donner les garanties nécessaires. Le mot foyer doit être entendu au sens le plus large; il comprend, quel que soit le système de chauffage, toutes les capacités dans lesquelles la combustion s'opère et les flammes peuvent se développer. Les orifices du foyer ainsi défini ne comprennent pas seulement les portes de chargement du combustible, mais aussi tous les autres orifices dont, selon la variété des systèmes, le foyer peut se trouver pourvu. Parmi ces derniers, les uns sont des orifices habituellement clos, que l'on ouvre seulement de temps à autre, tels que portes pour le concassage ou l'évacuation des mâchefers, guichets pour le ringardage du combustible ou le ramonage de la surface de chauffe, regards pour l'observation du feu; les autres sont nécessai-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 22 mai 1926, t. XIX, p. 833-839. Voici le texte de l'article 18 (voir page 837).

ART. 18. — Des dispositions doivent être prises pour empêcher en cas d'avarie à l'une des parties de la surface de chauffe, les retours de flamme et les projections d'eau chaude et de vapeur sur le personnel de service.

A cet effet :

a) Les orifices des foyers, les boîtes à tubes et les boîtes à fumée de toute chaudière à vapeur, ainsi que de tout réchauffeur d'eau, sécheur ou surchauffeur de vapeur, sont pourvus de fermetures solides et établies de manière à donner les garanties nécessaires;

b) Dans les chaudières à tubes d'eau et les surchauffeurs, les portes des foyers et les fermetures de cendriers sont disposées de manière à s'opposer automatiquement à la sortie éventuelle d'un flux de vapeur. Des mesures doivent être prises pour qu'un semblable flux ait toujours un écoulement facile et inoffensif vers le dehors.

Toutefois, les chaudières verticales à foyer intérieur et à tubes vaporisateurs sont dispensées de la disposition automatique de la porte du foyer.

Dans le cas de systèmes spéciaux de chauffage, celles des dispositions précédentes qui ne pourraient être appliquées seront remplacées par des dispositions équivalentes approuvées par le ministre, après avis de la Commission centrale des Machines à vapeur et garantissant au moins la même sécurité au personnel.

rement ouverts d'une manière permanente ou tout au moins prolongée, ce sont les ouvreaux d'admission d'air additionnel ou, d'une manière générale, les ouvertures qui, dans certains foyers, amènent l'air comburant.

3. Les portes de chargement et, parmi les autres orifices des foyers, ceux appartenant à la première des deux catégories ci-dessus (orifices habituellement clos), doivent être tenus normalement fermés et leurs fermetures doivent être constituées selon la rigueur des prescriptions (*a*).

J'insiste sur les remarques déjà faites au n° 30 de la circulaire du 3 décembre 1926 au sujet de la précarité des fermetures à loquet, c'est-à-dire à clenche et mentonnet.

Pour les portes de chargement et éventuellement pour les autres portes de service des foyers, telles que celles placées à l'extrémité d'aval de certains foyers à grille mécanique en vue du concassage des mâchefers, l'ouverture vers l'intérieur du foyer, autrement dit la disposition autoclave, est particulièrement recommandable sous le rapport de la solidité de la fermeture. J'ajoute, anticipant sur le commentaire des prescriptions (*b*), que parmi les dispositions d'usage courant employées pour ces portes, elle est pratiquement la seule capable de réaliser l'automaticité exigée sous (*b*) lorsqu'il s'agit d'une chaudière à tubes d'eau.

Les simples guichets de petites dimensions destinés à l'observation du feu et dans certains foyers, permettant en cas de besoin le ringardage du combustible sont fermés, soit par des portes autoclaves suivant le principe précédent, soit par des plaques obturatrices coulissantes. Cette dernière disposition peut suffire, à condition que toutes les parties du dispositif soient d'une résistance assurée, la fermeture suffisamment étanche et que la plaque obturatrice soit normalement assujettie par une pièce de fixation dans la position de fermeture complète.

Les fentes ménagées dans les parois latérales du fourneau pour l'introduction des lances de ramonage, pourvu qu'elles soient suffisamment étroites, peuvent recevoir des fermetures robustes sans qu'il soit nécessaire de recourir à la disposition autoclave. Mais il faut que leurs pièces de fixation soient d'une stabilité assurée.

Enfin, en ce qui touche les simples œilletons d'observation, la disposition qui consiste à les munir d'un opercule, se déplaçant par oscillation dans son plan est admissible, pourvu que l'œilleton soit petit, l'axe robuste et l'opercule toujours libre de revenir en place sous l'action de la pesanteur dès qu'on cesse de le tenir écarté.

4. Quant aux orifices appartenant à la seconde des catégories indiquées à la fin du n° 2, c'est-à-dire aux ouvertures livrant passage à de l'air comburant, il va sans dire qu'il ne s'agit pas, sous la lettre (*a*), de celles qui admettent l'air dans le cendrier, attendu qu'il n'est question de cendriers que sous la lettre (*b*). Les prescriptions (*a*) visent seulement, en fait d'entrées d'air, celles aboutissant dans le foyer.

A la différence des orifices dont il a été parlé au numéro précédent, ces entrées d'air ne peuvent rester habituellement fermées. Il est de leur essence d'être normalement ouvertes ; mais l'article 18 exige que, nonobstant cette ouverture, le personnel soit efficacement garanti.

On peut, dans certains cas, obtenir ce résultat en plaçant les prises d'air en dehors des locaux où se tient le personnel et en établissant ces prises d'air, ainsi que les conduits les reliant au foyer, de manière à rendre inoffensif tout retour de flamme ou flux de vapeur qui prendrait ce chemin.

Dans d'autres cas, la prise d'air est faite dans la chaufferie, mais il s'agit de prises de très petite section. Il est alors possible de garantir le personnel en disposant, devant ces prises d'air, des coffrages ou des déflecteurs judicieusement établis et solidement assujettis.

On peut recourir à l'emploi d'opercules automatiques, ouverts tant que le courant d'air est dirigé de l'extérieur vers l'intérieur du foyer et se fermant d'eux mêmes en cas de renversement de courant: toutefois, la réalisation de l'automaticité exige des soins spéciaux, tant dans l'étude et l'établissement des dispositifs que dans leur entretien ; des indications sur ce point seront données plus loin à propos des prescriptions (*b*).

5. Dans les divers systèmes de grilles à chargement mécanique, le charbon arrive sur la grille à partir d'une trémie dans laquelle il est constamment approvisionné et d'où il s'écoule soit sous l'action d'un mécanisme distributeur, soit par la seule gravité.

A la base et au-dessous de la trémie, l'observation de l'article 18 (*a*) ne souffre pas de difficulté spéciale dans le cas d'un mécanisme distributeur. Dans le cas où le charbon passe de la trémie à la grille par le seul effet de son poids, il n'en est pas tout à fait de même, à cause de l'intervalle qui subsiste entre le bas de la trémie et la surface supérieure de la grille. Mais cet intervalle est constamment comblé par la masse de charbon qui passe, sans solution de continuité, de la trémie à la grille, et l'on peut d'ordinaire admettre que cette masse suffit à exclure la possibilité d'un refoulement dangereux de gaz ou de vapeur vers la chaufferie par l'intervalle en question. C'est toutefois à la condition que le jeu entre la trémie et la grille soit minime, ou fermé par des volets mobiles convenablement établis et tels qu'une pression accidentelle qui prendrait naissance dans le foyer tende à renforcer l'élasticité du système.

D'autre part et quel que soit le type de grille mécanique, la trémie offrirait vers le haut, si elle ne se trouvait pas suffisamment garnie de charbon, une issue à un flux éventuel de gaz ou de vapeur. Pour si peu probable que paraisse la coïncidence entre une trémie vide et un accident, ce concours de circonstances s'est cependant déjà produit. Il faut donc, d'une part, que les parois de la trémie s'élèvent au-dessus du parquet de chauffe au moins jusqu'à hauteur d'homme et que leur débouché soit à l'écart des passerelles de service ; d'autre part, que l'approvisionnement de la trémie soit largement assuré en tout temps.

Dans le cas où le foyer serait disposé pour être chauffé tantôt au charbon et tantôt au gaz, il conviendrait, pendant le chauffage au gaz, d'isoler ou d'obturer la trémie.

6. Il ne doit pas être perdu de vue que les prescriptions (*a*) s'appliquent, non seulement aux orifices des foyers, mais aussi aux boites à tubes et aux boites à fumée, dont les portes doivent être constamment maintenues fermées en service et offrir toute garantie de solidité, tant par elles-mêmes que par leurs gonds et leurs organes de fermeture, sans préjudice des barres de sûreté qu'il est recommandable de leur superposer comme garantie supplémentaire. Les gonds, organes de fermeture et barres de sûreté doivent être très fortement reliés à l'ensemble de l'appareil.

7. Les calculs relatifs à la résistance des diverses pièces mentionnées dans les numéros précédents doivent être faits en tenant compte de la pression qui serait susceptible de se développer dans le fourneau en cas d'accident. On se référera utilement, à ce sujet, à ce qui est dit ci-après, au n° 22, à propos des trappes d'expansion.

II. Dispositions prescrites sous la lettre (*b*). — 8. Ainsi qu'il a déjà été dit au n° 1, les prescriptions inscrites sous la lettre (*b*), à la différence de celles inscrites sous la lettre (*a*), ne visent pas, d'une manière générale, l'ensemble de tous les générateurs, mais seulement les chaudières à tubes d'eau et les surchauffeurs.

D'autre part, elles ne se rapportent pas à toutes les parties des fourneaux, mais seulement aux portes de foyers et aux fermetures de cendriers.

Elles s'appliquent donc :

1° Aux portes des foyers et aux fermetures des cendriers des chaudières à tubes d'eau, que celles-ci soient ou non munies de surchauffeurs ;

2° Aux portes des foyers de surchauffeurs, ainsi qu'aux fermetures des cendriers correspondants.

Lorsqu'une chaudière, autre qu'une chaudière à tubes d'eau, est munie d'un surchauffeur chauffé exclusivement par des gaz ayant déjà servi au chauffage d'une partie au moins de la chaudière, le foyer appartient à la chaudière, non au surchauffeur, et les dispositions (*b*) ne sont pas obligatoires en vertu de l'article 18. Il ne s'ensuit pas qu'elles soient sans utilité, même dans ce cas, et c'est pourquoi sur certains types d'appareils, l'administration les recommande ou même les impose lorsqu'elle a par ailleurs pouvoir à cet effet.

9. Pour les portes de foyer, c'est-à-dire, conformément aux explications qui précèdent, pour les portes de chargement du combustible et, éventuellement pour les autres portes de service, comme celles de concassage des mâchefers, les prescriptions (*b*) imposent l'automaticité, en outre de la solidité de fermeture déjà prescrite sous (*a*). La circulaire du 3 décembre 1926, au dernier alinéa de son n° 30, a défini l'automaticité. La disposition habituellement employée, en vue de rendre la fermeture d'une porte de foyer à la fois solide et automatique consiste à établir une porte autoclave, s'ouvrant vers l'intérieur du foyer par rotation autour d'un axe horizontal situé à sa partie supérieure, et disposée de manière à se refermer d'elle-même sous l'action d'un flux de gaz ou de vapeur qui tendrait à sortir.

La disposition autoclave est, comme il est dit plus haut, la plus recommandable pour assurer la solidité de la fermeture. Elle ne suffit pas toujours par elle-même à assurer l'automaticité. C'est ainsi que l'on voit des installations où la porte autoclave, lorsqu'elle est ouverte en plein, se trouve, en raison de sa forme, de celle de l'embrasure et des dispositions de l'appareil, plus ou moins complètement décalée par rapport à la trajectoire d'un flux éventuel tendant à sortir. Il faut, au contraire, faire en sorte que, même dans la position de sa plus grande ouverture, la porte soit directement exposée à recevoir l'impulsion des gaz et de la vapeur et ait toute chance d'obéir à cette impulsion. Les dimensions de la porte, la position de son axe, la forme du gueulard ou de la maçonnerie doivent être étudiées en conséquence. On sera parfois amené, pour satisfaire aux conditions de ce programme, à limiter par des taquets l'ouverture de la porte ; mais il va sans dire que le moyen n'est applicable que si cette limitation ne nuit pas au service du foyer.

Les soins, ainsi apportés à l'établissemont de la porte en vue de l'automaticité, deviendraient inutiles si la porte, quand elle est ouverte, se trouvait calée ou immobilisée par une liaison quelconque s'opposant à la fermeture. Afin que le personnel ne soit pas tenté pour faciliter son travail, d'établir une telle liaison, il convient de faire en sorte que la position d'ouverture soit pour la porte une position d'équilibre, mais d'équilibre très peu stable, d'où elle sortirait sous la moindre poussée d'un flux gazeux.

10. Les fermetures des cendriers, dans le cas des chaudières à tubes d'eau ou des surchauffeurs, doivent être disposées de manière à s'opposer automatiquement à la sortie éventuelle d'un flux de vapeur.

L'expression de cendrier, comme celle de foyer, doit être prise au sens large : le cendrier est toute capacité dans laquelle tombent, au sortir du foyer, les cendres et les autres résidus comme les imbrûlés, les mâchefers ou les suies.

Selon le système de tirage et les autres dispositions de l'appareil, un cendrier est normalement ouvert, c'est-à-dire en communication directe avec l'extérieur, ou normalement clos.

11. En dehors des systèmes spéciaux de chauffage (par exemple, dans le cas des foyers à grille avec chargement à la main) lorsque le foyer fonctionne au tirage naturel ou, d'une manière générale, au moyen d'un système de tirage produisant sous la grille une aspiration, le cendrier est d'ordinaire une capacité de peu de profondeur, ouverte sur une de ses faces verticales; dans les installations fixes, l'ouverture est presque toujours sur la façade, c'est-à-dire au-dessous de la porte de chargement du foyer. N'étaient les risques auxquels l'article 18 a pour but de parer, l'ouverture pourrait être purement et simplement béante ou n'être que plus ou moins rétrécie par un panneau de réglage de l'arrivée d'air. La disposition généralement employée pour satisfaire à l'article 18 consiste à établir ce panneau de telle manière que, si un flux de gaz ou de vapeur tendait à sortir du cendrier, le panneau se fermerait sous la poussée. A cet effet, le panneau est monté sur un axe horizontal et, lorsqu'il est ouvert, sa partie inférieure, qui fait saillie à l'intérieur du cendrier, est placée de manière que la poussée éventuelle agisse efficacement pour le fermer. Toutes dispositions utiles doivent être prises pour que rien n'entrave la liberté de cette fermeture automatique. Les diverses observations présentées plus haut, au sujet de la réalisation de l'automaticité pour les portes de foyer, s'appliquent à toutes les fermetures de cendriers établies sur ce principe.

12. Les foyers ordinaires à grille avec chargement à la main, dans lesquels le tirage est obtenu en tout ou en partie au moyen d'une insufflation d'air sous la grille, possèdent des cendriers normalement clos où un ventilateur soufflant entretient une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

Pour l'enlèvement des cendres, le cendrier est muni d'une porte, placée d'ordinaire sur une des faces verticales ; cette porte reste nécessairement close en permanence au cours du fonctionnement normal de l'appareil, son ouverture étant incompatible avec le soufflage. Quand on l'ouvre, c'est à intervalles espacés et chaque fois pendant le temps strictement nécessaire à l'enlèvement des cendres. Or, durant cette opération, les outils introduits par l'ouverture empêcheraient la fermeture d'une porte automatique. C'est en considération de cet ensemble de circonstances que la circulaire du 6 mai 1920 a indiqué que, pour la porte de cendrier d'un foyer de cette espèce, il y a lieu de s'attacher seulement à la solidité, sans exiger une automaticité qui serait superflue ou illusoire. Mais cette tolérance est motivée par les conditions particulières de fonctionnement et de service des foyers ordinaires à grille avec tirage soufflé ; il doit être bien entendu que la circulaire du 6 mai 1920 ne saurait être invoquée pour les cendriers des systèmes spéciaux de chauffage dont il sera parlé aux numéros 13 et suivants.

Par contre, on considérera comme applicable à tout foyer soufflé l'indication, donnée dans la même circulaire, que les gaines amenant l'air au cendrier doivent être étanches et que le ventilateur lui-même doit être disposé de telle manière que l'écoulement éventuel des fluides par sa prise d'air soit sans danger pour le personnel.

13. Passons à ce qui touche l'application de l'article 18 (*b*) aux cendriers des systèmes spéciaux de chauffage. Les principaux de ces systèmes sont, à l'heure présente, les divers types de grilles à chargement mécanique (grilles, chaînes, grilles à mouvements alternatifs, à poussoirs, etc,), et les foyers à charbon pulvérisé.

Dans tous ces systèmes, l'application de l'article 18 (*b*) intéresse la sécurité de deux catégories de personnel, qui le plus souvent travaillent à des étages différents, d'une part, le personnel préposé au réglage du fonctionnement du générateur, à la surveillance de la combustion, et qui se trouve dans ce qu'on peut appeler d'une manière générale la chaufferie ; d'autre part, le personnel chargé, au niveau de la base des cendriers, de l'enlèvement des cendres et autres résidus.

14. Pour la sécurité de la première catégorie de personnel, la solution la plus simple et la plus radicale est que les cendriers soient sans communication aucune avec la chaufferie. Cette condition est réalisée ou réalisable dans la plu-

part des systèmes. Il existe cependant une classe de grilles mécaniques, celle des grilles-chaînes, qui appelle, à ce sujet, les observations spéciales ci-après.

15. Lorsqu'un foyer à grille-chaîne fonctionne au tirage naturel ou par aspiration, l'air nécessaire à la combustion arrive généralement de la chaufferie sous le tapis supérieur de la grille en traversant d'abord soit le tapis inférieur, soit le demi-cylindre à claire-voie formé par les éléments de la grille qui passent du tapis inférieur au tapis supérieur.

La capacité dans laquelle l'air s'engage ainsi à partir de la chaufferie, jusqu'au tapis supérieur de la grille, fait partie du cendrier tel qu'il a été défini ci-dessus. Pour l'isoler de la chaufferie, une disposition usitée consiste à établir sur la façade du générateur, sur toute la hauteur comprise entre le parquet de la chaufferie et le bas de la trémie d'arrivée du combustible, un capot résistant et étanche, offrant seulement, pour l'entrée de l'air, des ouvertures munies de panneaux à fermeture automatique.

Lorsque le foyer à grille-chaîne est un foyer soufflé, un capot analogue, mais sans ouvertures d'entrée d'air, peut être employé pour isoler la chaufferie des compartiments de soufflage et de tout ce qui constitue le ou les cendriers.

Toutefois, dans certains types de construction, on tient à laisser en libre et large communication avec la chaufferie le demi-cylindre de passage du tapis inférieur au tapis supérieur, afin de rafraîchir la grille et d'en faciliter la surveillance. On veut donc se passer de capot. Mais il faut alors que derrière le tambour d'avant de la grille (j'appelle extrémité d'avant l'extrémité correspondant à la façade du générateur, autrement dit à la trémie d'arrivée du combustible) soient établis un ou plusieurs cloisonnements qui interceptent toute communication par laquelle un flux de gaz ou de vapeur issu du foyer pourrait atteindre la chaufferie.

Or, une communication serait possible soit au travers du tapis supérieur de la grille, soit en partant de l'extrémité postérieure du foyer ou de la trémie cendrier qui, à cette extrémité, recueille les cendres et mâchefers et en passant au travers ou au-dessous du demi-cylindre de grille porté par le tambour d'arrière.

La difficulté, pour intercepter ces communications, provient surtout de la nécessité de laisser le passage libre au tapis inférieur de la grille.

Une solution simple dans son principe consiste à établir une cloison verticale immédiatement derrière le tambour d'avant. Vers le haut, cette cloison s'élève jusqu'au contact du tapis supérieur. Vers le bas, elle s'abaisse jusqu'au parquet de la chaufferie. A l'arrière de cette cloison, on a toute liberté pour assurer l'adduction de l'air carburant ainsi que la réception et l'évacuation des résidus de la combustion, conformément aux principes indiqués d'autre part. Reste à ménager le passage du tapis inférieur de la grille, dont la trajectoire coupe inévitablement la cloison ainsi placée. Celle-ci doit donc offrir une solution de continuité, ayant dans le sens horizontal une étendue égale à la largeur de la grille, plus un léger jeu et dans le sens vertical une dimension que l'on doit tout d'abord s'attacher à réduire autant que possible. Cette dimension doit, toutefois, être quelque peu supérieure à l'épaisseur du tapis, qui a besoin d'une certaine liberté de mouvement. Pour combler le vide, tant au-dessus qu'au-dessous du tapis, on ajoute des volets articulés, normalement appliqués contre chacune des faces dudit tapis par des points ou des ressorts. Il serait désirable que ces volets fussent disposés de telle sorte qu'un flux éventuel de gaz ou de vapeur contribuât lui-même à les appliquer contre le tapis, suivant le principe des fermetures autoclaves. Si l'on ne peut les disposer ainsi et si, au contraire, le flux tend à les écarter du tapis, il faut du moins que la force d'application, résultant de la gravité ou de l'action des ressorts, soit assez grande pour opposer à l'écartement une résistance qui ait toute chance d'être efficace. En outre et pour le cas où le flux aurait une violence déjouant les prévisions, il est indispensable que, par de solides butées, l'amplitude d'oscillation des volets soit limitée à ce qui est réellement nécessaire au passage du tapis.

Pour que la solution soit complète, il faut encore que la grille elle-même soit constituée de manière que le flux ne puisse cheminer avec une violence dangereuse dans l'épaisseur même du tapis, faute de quoi les mesures précédentes seraient illusoires.

Une autre solution consiste à établir une cloison, non derrière le tambour antérieur, mais devant le tambour postérieur de la grille. Comme ci-dessus, la cloison s'élève jusqu'au contact du tapis supérieur de la grille, se raccorde à sa base avec le sol du local et présente seulement, pour le passage du tapis inférieur, une solution de continuité calculée au plus juste et armée de volets articulés. Comme dans le cas précédent, la grille est supposée constituée de manière à ne pas permettre le cheminement d'un flux dangereux dans l'épaisseur même du tapis inférieur. Reste à empêcher le passage du flux au travers du tapis supérieur, sur toute l'étendue comprise entre le bas de la trémie à charbon et la cloison ainsi placée. A cet effet, on peut disposer sous le tapis supérieur un ou plusieurs coffrages, de forme assez plate pour laisser libre au-dessous d'eux le passage du tapis inférieur, et par lesquels se fait l'arrivée de l'air comburant au moyen de conduits et de prises d'air convenablement agencés, ces coffrages servant en même temps de cendriers pour recueillir les imbrûlés, escarbilles ou fraisils qui traverseraient le tapis supérieur. Celui-ci glisse sur une table percée d'ouvertures, qui sont les ouvertures supérieures de ces coffrages. Ou bien l'on peut faire glisser le tapis supérieur sur une table continue, sous laquelle il n'y a point de coffrage, la grille étant constituée de manière que l'arrivée de l'air comburant, amené par des coffrages latéraux, se fasse dans l'épaisseur même du tapis. Dans ce cas, il n'y a pas élimination d'imbrûlés au cours du trajet du combustible; les résidus de la combustion sont recueillis uniquement à l'extrémité postérieure de la grille, dans le cendrier principal placé à l'arrière de la cloison.

Un troisième genre de solution permet d'éviter tout défaut de continuité dans le cloisonnement et dispense de recourir à l'artifice des volets articulés. Comme dans la solution précédente, le tapis supérieur de la grille a immédiatement au-dessous de lui, soit une table avec ouvertures en communication avec un ou plusieurs coffrages, soit une table continue, coffrages et table assurant l'isolement sur toute la longueur comprise entre la trémie à combustible et un point situé un peu en avant de celui où la grille vient s'enrouler sur le tambour postérieur. Là est disposé un décrasseur fixe, qui, râclant le tapis, en détache les mâchefers, et sur lequel mâchefer et cendres s'accumulent, poussés par la progression générale, pour bientôt franchir un seuil et tomber dans le cendrier. Le décrasseur, le seuil et un cloisonnement continu qui leur fait suite isolent complètement le cendrier, situé au delà de ce cloisonnement, du tambour postérieur de la grille, situé en deçà; le retour de la chaîne sans fin se fait donc librement et sans obstacle.

16. Les dispositions qui viennent d'être décrites isolent les cendriers de la chaufferie. Mais comme on l'a indiqué au n° 13, ce n'est pas là tout le problème. Pour évacuer les matières recueillies par les cendriers, ceux-ci sont pourvus d'orifices par lesquels est faite leur vidange périodique ou continue, et le personnel occupé dans les locaux où se trouvent ces orifices doit être protégé conformément à l'article 18 du décret.

Les cendriers dont il s'agit sont de deux sortes. D'une part, dans certains types de foyers à chargement mécanique, on trouve sous la grille une ou plusieurs capacités recueillant les menus qui la traversent, imbrûlés ou fraisils, plus ou moins mélangés de cendres. D'autre part, à l'extrémité d'arrière de toute grille mécanique et au bas de toute chambre de combustion à charbon pulvérisé, il y a le cendrier proprement dit, formé par une trémie plus ou moins profonde dans laquelle tombent la partie principale des cendres et les autres matières résiduelles.

17. La ou les capacités recueillant, sous une grille mécanique, les imbrûlés et les fraisils, peuvent selon la variété des systèmes, être constituées à l'état de cendriers ouverts ou de cendriers clos.

Dans le cas d'un cendrier ouvert, muni pour l'admission de l'air d'une communication permanente avec l'extérieur, celle-ci doit être dotée d'un dispositif de fermeture automatique, à moins que l'emplacement de la prise d'air ne soit exclusif de tout risque pour le personnel.

Dans le cas d'un cendrier clos, la disposition la plus ordinairement employée, pour permettre d'en retirer de temps à autre les résidus de combustion, consiste à lui donner la forme d'une trémie, au bas de laquelle est disposé un registre dont l'ouverture permet de faire tomber facilement les matières dans un wagonnet. Pour ce registre, à la condition qu'il ne soit ouvert qu'une fois par jour, ou au maximum une fois par poste et chaque fois pendant un temps très court, une disposition de fermeture automatique peut n'être pas exigée.

18. Passons à ce qui concerne les trémies-cendriers qui reçoivent les cendres et autres matières résiduelles, soit au bout de grilles mécaniques, soit à la base des chambres de combustion à charbon pulvérisé.

La trémie-cendrier présente à sa base un dispositif d'évacuation dont le mode d'établissement et les conditions d'emploi réclament des soins attentifs. Ce dispositif est en effet appelé à remplir son office au cours même du fonctionnement normal du foyer; l'évacuation, si elle n'est pas continue, est fréquente; elle porte sur des quantités de matières généralement importantes, ces systèmes spéciaux de chauffage étant surtout employés pour des générateurs à grande production de vapeur et pour l'utilisation de combustibles cendreux; enfin, le local où se trouve la partie inférieure de la trémie est au niveau le plus bas de l'installation, parfois dans un sous-sol, et le personnel y serait particulièrement exposé en cas d'accident, notamment si l'ouverture livrait passage à un flux de gaz ou de vapeur, ou à une sortie inopinée de résidus de combustion, alors qu'un ou plusieurs ouvriers se trouvent à proximité pour une manœuvre de vidange ou une extraction de résidus.

Dans ces conditions, les dispositifs les plus aptes à résoudre radicalement le problème sont ceux qui, établis d'après le principe du sas, excluent matériellement toute possibilité pour un flux éventuel de vapeur ou de gaz venant du foyer, de se déverser dans le local du service d'enlèvement des cendres.

L'un des systèmes employés à cet effet consiste à disposer au bas de la trémie-cendrier deux registres superposés, l'un au-dessus, l'autre au-dessous d'une capacité spéciale formant sas, et à établir entre les commandes de ces deux registres un enclenchement tel que l'un des registres ne puisse être ouvert, même partiellement, si l'autre n'est pas complètement fermé. Ou bien, c'est la trémie-cendrier elle-même qui est constituée à l'état de sas: les cendres et mâchefers ne tombent dans la trémie que lorsqu'on ouvre une valve ou un registre placé à sa partie supérieure, et, par l'effet d'un enclenchement, cette valve ou ce registre ne peut être écarté de sa position de fermeture que si un second registre ou valve placé au bas de la trémie est dûment fermé.

Au lieu de superposer deux organes de fermeture enclenchés entre eux, on peut aussi réaliser l'application du principe du sas en disposant au bas de la trémie-cendrier un système tournant ou oscillant à axe horizontal, constitué soit par quatre pales décalées de 90° de l'une à la suivante, soit par un tambour offrant un évidement sur une partie de sa circonférence. A la vérité, dans un système de cette nature, il existe nécessairement un jeu entre la périphérie des pales ou du tambour et l'enveloppe fixe; mais ce jeu peut être assez minime pour ne pas risquer de livrer passage à un flux dangereux.

Il faut toutefois remarquer, au sujet de ces divers dispositifs, que, chaque fois qu'on les manœuvre pour évacuer le contenu du sas ou de la capacité jouant le rôle de sas, il peut y avoir, pour le personnel, à un degré ou à un autre selon les appareils et selon l'organisation de leur emploi, des dangers de brûlures résultant soit du déversement ou de la projection des cendres ou autres matières chaudes, soit, en certains cas, de l'inflammation des imbrûlés au contact de l'air. Il importe donc que la manœuvre soit faite à suffisante distance, par un opérateur placé à l'abri de ces risques et, d'une manière générale, que toutes dispositions et précautions soient prises pour assurer la sécurité des ouvriers chargés de l'extraction des résidus.

Par ailleurs, en ce qui touche le risque d'envahissement du local par un flux qui proviendrait du foyer en cas d'accident de chaudière, il est clair que les dispositifs fondés sur le principe du sas, s'ils ne sont pas automatiques au sens défini par la circulaire du 3 décembre 1926 (n° 30, dernier alinéa), ont une certitude d'efficacité plus absolue qu'un dispositif automatique dont la fermeture dépend de l'action du flux de gaz ou de vapeur. Ils doivent donc, sous réserve des mesures à prendre pour tenir compte des observations de l'alinéa précédent, être considérés comme satisfaisant à la condition d'équivalence exigée au dernier alinéa de l'article 18 du règlement.

Certaines installations comportent, dans la trémie-cendrier, non point un sas, mais un appareil de broyage des mâchefers, consistant soit en un cylindre horizontal tournant entre deux plaques mobiles constamment repoussées vers lui par des ressorts puissants, soit en deux cylindres horizontaux occupant toute la section inférieure de la trémie. La présence, au-dessus des broyeurs, d'une hauteur suffisante de matières résiduelles constitue un obstacle qui s'oppose à l'irruption d'un flux par l'orifice de sortie des cendres broyées.

Toutes les fois que les dispositions prises assureront la permanence d'une telle accumulation, on pourra considérer la condition d'équivalence comme remplie.

Quant à la fermeture automatique, au moyen par exemple d'une trappe basculante, selon le système envisagé au n° 11 pour les cendriers des foyers ordinaires chargés à la main, ce n'est que dans certains cas et moyennant des dispositions toutes spéciales, qu'elle peut être appliquée à l'extraction des résidus de combustion des foyers à grille mécanique ou à charbon pulvérisé. C'est d'ailleurs une solution qui en principe, répond à la lettre au règlement et pour laquelle, en conséquence, la question d'équivalence ne se pose pas; mais le service des mines devra examiner avec soin dans chaque cas, si elle est réalisée de manière que l'automaticité et l'efficacité du système soient réellement assurées.

19. Il est évident que ce ne serait satisfaire ni à la lettre, ni à l'esprit du règlement que de se contenter d'établir, au bas de la trémie-cendrier d'un foyer à grille mécanique ou à charbon pulvérisé, un simple registre ou tout autre organe dont la manœuvre d'ouverture mettrait la trémie en communication avec l'extérieur sans le correctif de la fermeture automatique. C'est pour prévenir tout malentendu à ce sujet qu'on a déjà fait remarquer, au n° 12, que les instructions de la circulaire du 6 mai 1920, relatives aux cendriers des foyers ordinaires chargés à la main dans le cas où ces foyers fonctionnent à tirage soufflé, ne s'étendent pas à d'autres systèmes de chauffage.

Cependant il peut se présenter des cas où il serait pratiquement impossible d'établir aucun des systèmes définis au n° 18. Celà peut arriver notamment dans certaines installations existantes, soit que la transformation nécessaire à l'établissement de l'un quelconque de ces systèmes soit irrémédiable faute de place en hauteur, soit que cette transformation ne puisse être entreprise immédiatement sans qu'il en résulte un grave préjudice pour l'industrie. L'ingénieur en chef des mines pourra alors, à titre exceptionnel et révocable, admettre que la trémie-cendrier ne soit munie à sa base que d'une simple fermeture par registre ou valve, pourvu que les conditions ci-après soit intégralement remplies :

1° Le système du foyer, la nature du combustible et des cendres et le régime de la combustion seront tels que les cendres, mâchefers ou autres résidus accumulés dans la trémie, passent d'eux-mêmes par l'effet de la seule ouverture du registre ou de la valve, dans le wagonnet ou le conduit d'évacuation destiné à les recevoir, sans que l'on ait à recourir, pendant le fonctionnement normal du générateur, à aucune introduction de ringard dans l'orifice de la trémie ni à aucune autre opération comportant la présence d'un ouvrier au voisinage de la trémie pendant que celle-ci est ouverte ;

2° Le dispositif de fermeture sera robuste, étanche et agencé de manière à ne pouvoir s'ouvrir sous l'effet d'une augmentation de pression dans la trémie ;

3° Il sera manœuvrable exclusivement à distance, au moyen d'une transmission mécanique d'un servo-moteur ;

4° Le poste de manœuvre sera placé et organisé de telle sorte que l'opérateur soit à l'abri de tout risque d'atteinte ou de brûlure en cas de projection de matières solides, de retour de flamme ou de déversement de vapeur. La protection sera obtenue, s'il y a lieu à l'aide d'un large et robuste écran établi à demeure et formant bouclier, percé seulement des ouvertures strictement nécessaires au passage des organes de commande et aux regards d'observation ;

5° Avant chaque ouverture du registre ou de la valve, le wagonnet ou le conduit d'évacuation sera disposé pour recevoir les résidus et le personnel se retirera à l'abri de tout risque d'atteinte ou de brûlure. Il restera abrité tant que la trémie n'aura pas été complètement refermée. Des consignes rendront ces règles obligatoires pour tout le personnel ; elles seront affichées en permanence et la direction de l'établissement tiendra la main à leur observation ;

6° Des signaux avertisseurs, lumineux ou sonores, seront actionnés par le registre (ou valve ou par son mécanisme de commande, de telle manière qu'ils commencent à fonctionner dès le début de la manœuvre d'ouverture, avant qu'il y ait ouverture effective, et qu'ils fonctionnent en permanence tant qu'il n'y aura pas fermeture complète ;

7° Les locaux affectés au service de l'enlèvement des cendres seront suffisamment spacieux, bien aérés, convenablement éclairés et offriront au personnel des chemins de retraite faciles et sans danger. On devra pouvoir s'éloigner dans deux directions au moins, tant du poste de commande que du voisinage du bas de la trémie ;

8° S'il arrivait exceptionnellement que le registre ou valve fût paralysé dans son fonctionnement, ou que la descente des cendres et mâchefers ne se fit pas spontanément une fois la trémie ouverte, et qu'il y eût nécessité de force majeure à s'écarter des règles ci-dessus posées, il serait pourvu à la sécurité du personnel, chaque fois qu'un incident de ce genre se produirait, par des mesures et des précautions spéciales, sur l'ordre et sous la direction du chef de l'établissement ou d'un chef de service responsable.

Tel est l'ensemble des dispositions et des mesures indispensables pour que, dans le cas où la trémie-cendrier n'est pourvue à sa base que d'une simple fermeture par registre ou valve, on puisse regarder la sécurité du personnel comme garantie au même degré que par les dispositions réglementaires de l'article 18.

J'ajoute que l'organe de fermeture et son dispositif de manœuvre doivent, si possible, être agencés de telle sorte que le registre ou valve reprenne automatiquement sa position de fermeture dès que l'on cesse d'actionner la commande d'ouverture, afin qu'il soit impossible à l'opérateur, sans que la trémie se referme, de quitter le poste où il se trouve à l'abri.

20. On notera que, dans le cas envisagé au numéro précédent, l'équivalence exigée par le règlement repose d'une manière essentielle sur des consignes et sur la discipline qui doit présider à leur exécution en même temps que sur des dispositions matérielles qui ne sont pas seulement relatives au cendrier et à ses accessoires, mais aussi à l'aménagement des locaux. C'est pour cette double raison que l'agrément de l'ingénieur en chef des mines est nécessaire et cet agrément serait retiré si le service des mines constatait que les conditions imposées cessent d'être exactement remplies ou que la direction de l'établissement n'assure pas une stricte exécution des consignes.

21. L'évacuation des cendres, au lieu d'être obtenue d'une manière intermittente au bas de la trémie-cendrier au moyen de l'un des dispositifs énumérés plus haut, est parfois assurée d'une manière continue par entraînement dans un courant d'eau. En ce cas il est indispensable que les larmiers ou chais de coulée des trémies à cendres soient reliés par des goulottes étanches aux rigoles, auges ou bacs d'évacuation, lesquels doivent être fermés, jusqu'à leur sortie des lieux fréquentés, par des couvercles, dalles ou autres dispositifs susceptibles de résister aux pressions de l'ordre de celles dont les trappes d'expansion permettent le développement dans le fourneau. Un simple joint hydraulique de quelques centimètres de hauteur ne saurait, en effet, être considéré comme suffisant pour garantir le personnel contre un flux de vapeur ou de gaz.

En outre, dans les installations de cette espèce, toutes dispositions doivent être prises pour que l'évacuation soit facile et régulière et n'oblige que très exceptionnellement le personnel à ouvrir les couvercles ou dalles de protection pour dégorger les canaux.

22. L'article 18 (*b*), après avoir dit que, dans les chaudières à tubes d'eau et les surchauffeurs, les portes de foyers et les fermetures de cendriers doivent être disposées de manière à s'opposer automatiquement à la sortie éventuelle d'un flux de vapeur, ajoute que des mesures doivent être prises pour qu'un semblable flux ait toujours un écoulement facile et inoffensif vers le dehors.

Le plus souvent, c'est par l'établissement de trappes d'expansion sur le fourneau que l'on se propose de satisfaire à cette prescription.

Sur les conditions que doivent remplir les trappes d'expansion, la circulaire du 3 décembre 1926 a déjà donné des indications ; mais il est nécessaire d'insister à ce sujet parce que l'on rencontre encore fréquemment des installations dotées de trappes insuffisantes ou mal disposées.

Des trappes de dimensions convenables doivent offrir au flux que peut émettre un tube vaporisateur largement ouvert ou déboîté, un écoulement tel que la pression à l'intérieur du fourneau ne risque pas d'atteindre une valeur que les maçonneries ne pourraient supporter sans se dégrader ou se fissurer dangereusement. La résistance des fourneaux est naturellement très variable suivant leur constitution. Il est d'ailleurs intéressant, même indépendamment de la question de résistance du fourneau, de limiter à la plus petite valeur possible la pression développée, pour réduire la vivacité des jets éventuels fusant par les interstices. A ce point de vue, il paraît recommandable de faire en sorte qu'en aucun cas la pression dans le fourneau ne puisse dépasser l'ordre de grandeur de un cinquième ou un quart d'hectopièze.

Dans ces conditions, les dimensions des trappes sont essentiellement commandées, quelles que soient la capacité et la surtaxe de chauffe, par le timbre du générateur, le diamètre intérieur des tubes vaporisateurs et les résistances du trajet d'échappement du flux.

A titre d'exemple, et sous réserve des modifications qu'une expérimentation systématique pourrait conduire à apporter aux vues purement théoriques exposées jusqu'à ce jour à ce sujet, un générateur timbré à 25 hectopièzes et dont les tubes vaporisateurs mesurent 80 mm de diamètre devrait, en supposant négligeables les résistances opposées à l'échappement du flux, posséder des trappes d'expansion d'une surface totale de 70 à 80 dm².

Il importe que les résistances opposées à l'échappement du flux soient réduites au minimum. La position des trappes doit être choisie en tenant compte de cette considération. Elles doivent donc être placées, dans la mesure du possible,

à proximité des parties les plus vulnérables de la surface de chauffe, c'est-à dire dans le premier parcours des gaz chauds. D'autre part, elles doivent déboucher directement à l'air libre ou dans une gaine spéciale d'évacuation. Mais il ne faut en aucun cas que l'échappement de la vapeur puisse menacer les points de passage ou de stationnement du personnel, même occasionnels, tels que passerelles ou escaliers de service. Enfin, il est indispensable de veiller à ce que les trappes soient établies de manière que lorsqu'elles fonctionnent, aucune pièce mobile ne puisse être projetée dans la chaufferie.

III. Observations d'ordre général. — 23. Le principe posé au début de l'article 18 du décret vise la préservation du personnel en cas d'avarie à l'une des parties de la surface de chauffe. L'un des dangers mentionnés, à savoir celui d'un retour de flamme, prend quelquefois naissance dans le foyer ou dans le cendrier, la chaudière restant intacte. On s'est demandé si, dans le cas d'un retour de flamme ne provenant pas d'une avarie à la surface de chauffe, un accident de personne qui en résulterait tomberait sous l'application de l'article 44 du décret. La Commission centrale des machines à vapeur consultée, a répondu affirmativement et j'ai adopté son avis. Le foyer, le cendrier, les boites à tubes ou à fumée, et d'une manière générale toutes les parties du fourneau d'un générateur de vapeur, ne sauraient être séparés de celui-ci quant aux principes de la surveillance administrative, et tout accident ayant, dans l'une de ces parties, son siège ou son origine, doit, à quelque cause qu'on doive l'attribuer, donner lieu à l'application de l'article 44 ou, s'il est purement matériel, de l'article 43 du règlement.

24. Un retour de flamme peut, par exemple, se produire lorsque à la base d'une chambre de combustion ou dans une trémie d'évacuation de cendres une rentrée d'air consécutive à l'ouverture d'un registre provoque une inflammation d'imbrûlés. C'est là un des risques dont il convient de se préoccuper dans l'établissement des dispositions relatives à l'évacuation et à l'enlèvement des résidus de la combustion.

Dans le même ordre d'idées, on doit se préoccuper, pour les foyers et cendriers des divers systèmes, des risques que les ouvriers occupés, soit à ringarder le combustible, soit à concasser les mâchefers, soit à extraire les résidus de combustion, pourraient courir par suite de la chute de matières incandescentes ou de cendres chaudes. Suivant une remarque déjà faite, la disposition automatique des portes perd, en tout ou en partie, son efficacité, durant le temps qu'un outil est engagé dans l'ouverture. Il importe de rendre aussi rares et brèves que possible les interventions comportant ce genre de travail, en même temps que de garantir le mieux possible les ouvriers pendant qu'il s'accomplit.

On notera enfin que l'allumage des foyers au charbon pulvérisé peut donner lieu, dans certaines circonstances, à des explosions de poussières avec projection de flammes en dehors. Des précautions doivent être prises pour éviter ces flambées et, d'autre part, pour protéger les ouvriers contre leurs projections.

25. Les dispositions et mesures indiquées au cours de la présente circulaire comme pouvant remplacer par voie d'équivalence les dispositions prévues à l'article 18 du décret, seront considérées comme approuvées, en conformité du dernier paragraphe de cet article, par cette circulaire même, dont les termes ont été arrêtés après avis de la commission centrale des machines à vapeur.

Il doit d'ailleurs être bien entendu qu'il pourra se présenter, en dehors des solutions ainsi prévues, d'autres dispositions équivalentes susceptibles d'être acceptées, soit d'une manière générale, soit dans tel ou tel cas particulier. Mais ces dispositions devront, ou bien être soumises à leur tour à l'approbation ministérielle par application du dernier paragraphe de l'article 18, ou bien faire l'objet de dérogations d'espèce en vertu de l'article 37 du décret.

26. Les ingénieurs des mines s'inspireront des instructions et indications de la présente circulaire pour inviter les usagers des installations existantes qui, présentement, ne satisfont pas encore aux prescriptions de l'article 18 du décret du 2 avril 1926, à faire le nécessaire pour s'y conformer.

Sur la législation relative à l'organisation du crédit aux sociétés coopératives d'artisans.

Le « Journal officiel » du 18 janvier 1930 publie, page 18 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

6 095. — M. Louis Rouquier demande à M. le ministre du Travail : 1° quelle est la date approximative à laquelle sera appliquée la loi du 1er mai 1929, modifiant les articles 3 et 5 de la loi du 27 décembre 1923, portant organisation du crédit aux sociétés coopératives et unions de sociétés coopératives d'artisans, ainsi qu'aux petits artisans, observation faite que le retard d'application de cette loi prive un grand nombre d'intéressés de son bénéfice, du fait que le crédit artisanal, tel qu'il fonctionne actuellement, ne lui permet pas de profiter des nombreux millions inemployés dont dispose le fonds de dotation de l'artisanat, alors que les besoins de crédit chez les artisans sont plus grands, vu la situation économique actuelle; 2° à quelle date sera appliqué le règlement d'administration publique fixant les conditions de l'application de la loi du 26 juillet 1925, créant des chambres de métiers; et ajoute que la création de ces chambres s'impose sans délai, attendu qu'en l'état actuel, l'artisanat français se trouve privé de ses organes officiels de défense et qu'il ne peut assurer celle-ci comme il le devrait. (Question du 13 novembre 1929.

Réponse. — 1° La loi du 1er mai 1929 a modifié les articles 3 et 5 de la loi du 27 décembre 1923, de manière à permettre à des unions de sociétés coopératives d'artisans spécialement constituées de faire des prêts aux petits artisans au même titre que les banques populaires. L'administration s'attachera à faciliter le fonctionnement de telles unions. Mais, à ce jour, elle n'a été saisie que d'une seule demande, qu'une union a présentée en vue de pouvoir faire les opérations autorisées par la loi du 1er mai 1929. Cette demande, qui a été soumise à la commission spéciale de l'artisanat, fait l'objet actuellement d'une enquête, dont les résultats seront soumis très prochainement à la commission. Par ailleurs, le montant des avances faites, depuis l'origine, aux banques populaires pour assurer le service des prêts individuels aux artisans s'établit comme suit : année 1925, 350 000 fr; année 1926, 1 550 000 fr; année 1927, 50 000 fr; année 1928, 2 100 000 fr; année 1929 (au 25 décembre 1929), 6 millions de francs. En outre, l'administration est actuellement saisie, de la part des banques populaires, de demandes d'avances s'élevant à 4 800 000 fr; 2° dès la publication du règlement d'administration publique du 14 avril 1928, pris pour l'application de la loi du 26 juillet 1925, l'administration s'est employée à hâter la création des premières chambres de métiers. L'obligation de consulter certains organismes et de recueillir certains avis, prévue par la loi et par le règlement, la nécessité de connaître les métiers artisanaux à énumérer dans les différentes catégories, expliquent que, malgré toute la diligence de l'administration, un délai assez long se soit écoulé sans que la première chambre de métiers ait été créée. Mais le Conseil d'Etat a été déjà saisi de trois projets de décret, préparés par l'administration et portant création de chambres de métiers dans trois départements. Deux de ces projets viennent d'être approuvés par le Conseil d'Etat, et les décrets d'institution seront très prochainement publiés. En outre, des enquêtes en vue de la création d'une chambre de métiers sont ouvertes dans trente-neuf autres départements, pour répondre aux demandes des organisations artisanales. Au fur et à mesure qu'elles seront terminées, l'administration fera toute diligence pour la préparation des décrets d'institution.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 9. — 1er MARS 1930.

Chronique. — Comité électrotechnique français : Séance du 23 novembre 1929, p. 313. — Nécrologie : Guido Semenza, p. 315. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation, p. 316. — Bibliographie : Leçons sur les systèmes d'équations aux dérivées partielles, par Maurice JANET, p. 316; Agenda Béranger, 1930, p. 316.

Section scientifique et technique. — Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent (*suite et fin*), par S. HELD, p. 317. — Revues, analyses et informations : Calculs mécaniques des lignes aériennes : méthode de Percy-H. Thomas, p. 324; Obtention de trois mécanismes de rupture du verre par élimination de l'effet de bords, p. 327; Le spectre d'arc et le spectre d'étincelle de l'hydrogène dans l'extrême ultraviolet, p. 328; Conduction électrique d'une solution contenant un corps granulé en suspension stable, p. 329; Le potentiel de polarisation diélectrique et la loi de superposition dans le cas du caoutchouc dur, p. 330.

Section industrielle. — L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions, par R. VAN CAUWENBERGHE et G. MARCHAL, p. 331. — A propos des absorbeurs d'ondes, par Charles LEDOUX, p. 337. — Revues, analyses et informations : Analyse et mesure du bruit émis par les machines, p. 342; Progrès réalisés dans l'industrie électrique durant l'année 1929, p. 344; La transmission de l'énergie électrique à 220000 volts, p. 345; Système de régulation automatique des compensateurs synchrones, p. 346.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Le marché international des métaux en 1929, p. 347. — Assemblées générales : Etablissements industriels de E.-C. Grammont et de Alexandre Grammont, p. 349.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour de Cassation relatif à la propriété d'une marque de fabrique étrangère utilisée pendant la guerre par une maison française, p. 351; Arrêt de la Cour de Cassation concernant le délai-congé, p. 351; Sur la taxe à laquelle sont soumises les cessions de parts lors de la transformation d'une société en nom collectif en société à responsabilité limitée, p. 352; Sur les droits qu'ont les entrepreneurs étrangers de travailler pour les administrations publiques, p. 352; Sur le régime administratif de la radiodiffusion, p. 352.

Comité électrotechnique français : Séance du 23 novembre 1929. — La séance est ouverte à 17 h 30 sous la présidence de M. E. Brylinski, président du Comité.

Sont présents : MM. Arbelot, Arquembourg, Blaché, Blondin, Brylinski, Bunet, Cornuault, Darrieus, Drouet, Drouin, Duval, Esbran, Ferrier, Genissieu, Girault, Girousse, Gratzmuller, Grosselin, Guery, Janet, Jouaust, Lange, Maurice Leblanc, Mouchelet, Parodi, Rougé, Stiffel, Ulrich.

Absents excusés : MM. Carpentier, Cauchois, Ellissen, Eschwège, Lebaupin, de la Mathe, Rey, Roth, Schwarberg.

I. PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 20 JUIN 1929. — Le procès-verbal dela séance du 20 juin 1929 est lu et adopté (1).

II. DÉCÈS. — Le président rappelle le décès récent de M. Semenza, ancien président et président d'honneur de la Commission électrotechnique internationale, décès survenu après une pénible maladie de trois années. Le président Semenza avait rendu les plus grands services à la Commission; sa direction avait donné une grande impulsion aux comités d'études et sa courtoisie apportait un charme apprécié aux réunions internationales. M. Brylinski, ainsi que le secrétaire, M. Duval, ont adressé les vives condoléances du Comité à la famille de M. Semenza et au Comité italien.

Le Comité français a éprouvé, lui aussi, une grande perte en la personne de M. Zetter, représentant du Syndicat général de la Construction électrique, travailleur infatigable, esprit précis dont les études sur la normalisation des lampes à incandescence et des culots de lampe ont fait autorité auprès des comités étrangers. Le Comité français renouvelle à la famille de M. Zetter ses regrets sincères; il aura la tâche difficile de remplacer M. Zetter à la présidence de la Commission des Lampes.

III. RENOUVELLEMENT DU BUREAU. — Il est procédé ensuite au renouvellement du bureau pour l'année 1930.

M. E. Brylinski est confirmé à l'unanimité dans les fonctions de président.

MM. Boucherot, Paul Janet, Ernest Mercier et Roth, vice-présidents sortants; M. Blondin, trésorier, et M. Duval, secrétaire, sont réélus à l'unanimité.

IV. NOMINATIONS DE DÉLÉGUÉS. — Sont nommés délégués :

A la Commission électrotechnique internationale : MM. Boucherot, P. Janet et Duval.

Au Conseil de la Commission : MM. Brylinski et Boucherot; suppléant, M. P. Janet.

(1) Ce procès verbal a été publié dans la *Revue générale de l'Électricité*, 22 février 1930, t. XXVII, p. 273-274.

Aux comités d'études de la Commission internationale :

N° 1 Nomenclature et Vocabulaire : M. P. Janet ; suppléant, M. Blondin;

N° 2 Spécification des Machines : M. Boucherot; suppléant, M. Ed. Roth.

N° 3 Symboles graphiques : M. P. Janet; suppléant, M. Blondin.

N° 4 Moteurs hydrauliques : M. Eydoux ; suppléant, M. Darrieus.

N° 5 Moteurs thermiques : MM. Arrighi de Casanova ; suppléants, M. Cauchois et M. Darrieus.

N° 6 Douilles et culots de lampes : à désigner.

N° 7 Aluminium : M. Janet ; suppléant, M. Jouaust.

N° 8 Tensions et isolateurs : M. Duval.

N° 9 Moteurs de traction : M. Péridier; suppléant, M. Girault.

N° 10 Huiles isolantes : M. Henri Weiss ; suppléant, M. Girault.

N° 11 Réglementation des lignes aériennes : M. Brylinski ; suppléant, M. Duval.

N° 12 Radiocommunication : M. Jouaust ; suppléant, M. Girault.

N° 13 Instruments de mesures : M. Cornuault.

N° 14 Régime des cours d'eau : M. Lacroix ; suppléant, M. Duval,

N° 15 Isolants : M. Grosselin.

N° 16 Marques des bornes : M. Girault; suppléant, M. Blondin.

N° 17 Interrupteurs et disjoncteurs : M. Drouin; suppléant, M. Roth.

N° 18 Installations sur les navires : M. Stiffel.

N° 19 Expert pour chaudières : M. Rauber.

Toutes ces désignations réunissent l'unanimité des suffrages. Il est convenu que le secrétaire demandera à tous les membres du Comité de choisir les commissions aux travaux desquelles ils s'intéressent et que les délégués désignés pour présider ces commissions auront pouvoir pour convoquer celles-ci afin d'activer les travaux.

V. Congrès international de l'Electricité. — Le président signale que le Comité de la Conférence des grands Réseaux électriques à haute Tension doit se réunir le 19 décembre et a demandé au Comité électrotechnique d'envoyer des délégués à cette réunion afin d'essayer d'établir un accord pour la préparation du Congrès des Electriciens projeté à Paris. MM. Brylinski, P. Janet, P. Boucherot, Eschwège, Schwarberg, Parodi, Grosselin et Duval sont désignés pour assister à cette réunion.

Le président signale une proposition heureuse de M. Ulrich, qui envisage la réunion du Congrès en 1932 au lieu de 1931 ; cette nouvelle date semble de nature à rallier tous les suffrages et à faire disparaître toutes difficultés. Si l'unanimité peut s'établir sur cette proposition M. Janet serait d'accord pour conserver la présidence du comité de préparation du Congrès de 1932 et il est convenu que M. Brylinski écrira immédiatement à M. Le Maistre pour lui demander de consulter rapidement les comités nationaux en vue de proposer à leur acceptation la date de 1932.

VI. Travaux des comités et commissions d'études. — Les divers délégués rendent compte ensuite des travaux des comités d'études.

En l'absence de M. Roth, M. Girault expose les conclusions des travaux effectués durant la réunion de juillet à Londres pendant laquelle furent examinées les questions d'échauffement des machines, de mesure des pertes, des essais des bornes, de surtensions dans les excitatrices et d'excès de couple imposé aux moteurs.

M. Péridier rend compte des réunions relatives aux moteurs de traction durant lesquelles furent précisés les essais de rigidité diélectrique, les essais de commutation, les essais de survitesse et la détermination des échauffements. M. Péridier n'a pu assister à une seconde réunion tenue à Bruxelles le 4 novembre 1929, par suite d'une omission dans les convocations du Bureau central.

M. Darrieus expose les travaux effectués à Londres du 1er au 6 juillet 1929 par le Comité des Moteurs thermiques. Les études préparées par le Comité américain furent examinées; il fut décidé de poursuivre l'examen des méthodes de mesures ainsi que l'établissement de la liste des symboles graphiques, des corrections dans les essais. Une série des puissances et des pressions normales fut choisie, l'emploi de la fonte aux températures élevées fut étudié. Il est décidé que MM. Darrieus et Cauchois se mettront d'accord avec M. Arrighi de Casanova pour convoquer la commission française et poursuivre ces études ; la commission sera complétée en y adjoignant les représentants des sociétés qui s'intéressent aux turbines à vapeur.

M. Jouaust rend compte des travaux de la Sous-Commission de l'Aluminium laquelle s'est réunie à Berlin le 6 novembre 1929.

La valeur de 2,845 microhms-centimètres à 20 degrés centésimaux a été adoptée pour la résistivité, et deux qualités de métal ont été définies, l'une avec charge de rupture supérieure à 15 kg par millimètre carré pour l'aluminium écroui, l'autre pour l'aluminium recuit, qui devra être définie par les constructeurs.

M. Cornuault, qui s'est rendu à Berlin les 6 et 7 novembre pour assister aux séances du Comité des Instruments de Mesures, rend compte des travaux de ce comité concernant les compteurs. Durant ces séances ont été examinées les questions concernant le sens de rotation, la constante du compteur, la normalisation des calibres, les essais d'isolement, la surcharge, l'échauffement, l'exactitude, les variations de tension et de fréquence. Les transformateurs de courant et de tension ont également été étudiés et les conclusions admises sont presque toutes conformes au règlement français (publication n° 90 de l'Union des Syndicats de l'Electricité).

M. Duval rend compte des travaux de la Commission mixte des Isolateurs et des Tensions normales. Saisie par le Bureau central d'une demande d'acceptation de la tension de 120 000 v, le Comité français a transmis cette proposition à M. Genissieu et au Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. Les réponses ont été concordantes pour constater que la tension de 120 000 v autrefois employée tend à disparaître pour être remplacée par celle de 150 000 v ; en conséquence, la Commission est d'avis que les tensions à recommander sont celles de 90 000 v et de 150 000 v. Le Comité approuve ces conclusions de la Commission qui seront transmises au Bureau central.

En ce qui concerne les isolateurs, après plusieurs réunions, la Commission s'est prononcée pour l'approbation des propositions du Bureau central, mais en demandant que les conditions d'essais soient bien exactement précisées tant pour les essais à sec que pour les essais sous pluie ; il sera répondu en ce sens au Bureau central.

M. Grosselin, délégué général de la Société française des Electriciens, a proposé au Comité que la quatrième section de cette société mette à l'étude la question des isolateurs. Le Comité français est bien d'accord pour que tous les groupements adhérents l'aident dans la réalisation de ses tra-

vaux en lui transmettant les résultats des études de leurs commissions. Il signale à ce sujet qu'il serait désirable que l'étude de certaines questions restées en suspens soit entreprise, par exemple : symboles graphiques pour relais et disjoncteurs, moteurs thermiques et hydrauliques, régime des cours d'eau, marques des bornes des machines.

M. Girault signale à ce propos que pour les installations dans les mines, il est difficile de se procurer une réglementation en usage, le Comité français émet l'avis que l'Union des Syndicats de l'Electricité pourrait entreprendre l'étude de cette question d'accord avec le Comité des Houillères.

En ce qui concerne les huiles isolantes, le président rappelle que les beaux travaux réalisés à ce jour par M. H. Weiss font autorité et se sont imposés à l'étranger même ; il propose au Comité de poursuivre ces études qui ne lui imposent que de faibles dépenses grâce aux concours de tous les groupements français intéressés à cette question. Cette proposition est adoptée.

Le président remercie les délégués qui ont bien voulu se déplacer à l'étranger et participer activement aux travaux des commissions.

M. Blondin signale que la nouvelle édition du Vocabulaire français est parue ; ce fascicule sera envoyé aux membres du Comité. M. Blondin attire l'attention de tous les membres des diverses commissions sur la nécessité de toujours demander l'application du système métrique dans la rédaction des diverses conclusions des commissions.

VII. Questions diverses. — Le président signale que le Comité a été saisi par le Bureau central d'une proposition tendant à la mise à l'étude des accidents causés par l'électricité, à la suite d'une proposition du Comité allemand ; il a été répondu, conformément aux décisions du Comité d'Entente, que cette question ne relève pas du programme des comités électrotechniques.

Le Comité français n'a pu envoyer de délégué au Congrès mondial des Ingénieurs, à Tokio, mais son président a écrit à M. Lombardi pour le prier d'être son représentant à ce congrès.

Le secrétaire rappelle qu'une assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale se tiendra dans les pays scandinaves du 27 juin au 9 juillet 1930, la plupart des réunions techniques se tiendront à Stockholm du 30 juin au 5 juillet ; le programme détaillé des travaux sera envoyé en temps utile aux membres du Comité, qu'il serait important de réunir nombreux à cette assemblée plénière où des décisions seront prises sur de multiples questions techniques.

Le président rend compte de la correspondance échangée avec l'Association française de Normalisation (Afnor). Le délégué du Comité, M. Duval, a assisté aux séances de celle-ci et a étudié, d'accord avec le directeur général, les modifications proposées par la France aux statuts de l'International Standardisation Association.

Le Comité a reçu de l'Association française de Normalisation pour examen et avis un projet de normes des clavetages (C N M 62, 63, 64) avec demande de réponse dans le court délai de trois jours ; il a été répondu qu'il était impossible de traiter aussi rapidement une question fort complexe, et la proposition sera examinée par les délégués désignés à cet effet, MM. Roth, Girault et Darrieus.

L'Union des Syndicats de l'Electricité présente à l'approbation du Comité cinq nouveaux fascicules :

N° 91 Unification des boîtes à bornes des compteurs.

N° 60 Règles d'établissement des disjoncteurs.

N° 184 Règlements techniques généraux et particuliers.

N° 185 Normalisation des gammes d'intensité de courant.

N° 186 Cahier des charges pour conducteurs isolés au caouchouc (révision).

Considérant que ces fascicules présentent des dispositions techniques importantes, le Comité en approuve le texte qui sera transmis à l'Association française de Normalisation.

Il est décidé également de prendre acte de la circulaire ministérielle aux ingénieurs en chef du Contrôle des Distributions d'Energie électrique en date du 6 novembre 1928, qui recommande l'application des règles contenues dans le fascicule 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité (Règles pour l'exécution et l'entretien des installations électriques) ; en conséquence, ce fascicule sera transmis à l'Association française de Normalisation pour demande d'homologation par la Commission permanente de Normalisation.

L'ordre du jour étant épuisé la séance est levée à 19 h 15.

Nécrologie : Guido Semenza. — Ainsi qu'il est dit dans le compte rendu de la séance du 28 novembre 1929 du Comité électrotechnique français, la Commission électrotechnique internationale a perdu récemment, le 7 novembre 1929, l'un de ses présidents d'honneur, M. Guido Semenza, élu président par le Conseil de la Commission dans la réunion qu'il tint à Paris en décembre 1923 (1), puis président d'honneur à la réunion de Bellagio, en septembre 1927.

D'une notice nécrologique publiée par notre confrère italien « L'Elettrotecnica » nous extrayons les renseignements qui suivent sur la vie et les travaux de Guido Semenza.

G. Semenza naquit à Londres le 19 décembre 1868 de parents italiens. De bonne heure, il fut conduit en Italie où il poursuivit ses études classiques à Milan. En 1893 il conquit le diplôme d'ingénieur du Polytechnicum de cette ville et l'année suivante il entra à l'Institut électrotechnique Montefiore.

En 1894, il débuta dans la carrière électrotechnique à la Société Edison où il assumait l'étude et ensuite l'exécution des travaux des installations hydrauliques de Paderno, sur l'Adda. A partir de ce moment, toute l'activité de Semenza fut dévolue aux questions de transmission et de distribution de l'énergie électrique et lorsqu'en 1913 il quitta la Société Edison pour mieux exercer ses fonctions d'ingénieur consultant, ses travaux et les réalisations qui en furent la conséquence le placèrent à cette époque parmi les techniciens les plus réputés.

Mais la grande activité de G. Semenza ne se limitait pas seulement aux réalisations d'ordre industriel ; la téléphonie et la télégraphie avaient été de sa part l'objet d'études approfondies, c'est pourquoi, le gouvernement italien lui confia notamment l'élaboration des programmes du développement de ses réseaux téléphoniques.

Les travaux de G. Semenza ont contribué à établir des relations commerciales hautement profitables entre les principales sociétés étrangères. Ces travaux ont été publiés dans les actes des diverses associations

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 29 décembre 1923, t. XIV, p. 1041.

italiennes d'ingénieurs et dans les comptes rendus des congrès où toujours, G. Semenza donnait, dans des exposés lumineux, la mesure de son expérience et de son talent.

Il faisait partie des conseils d'administration d'un grand nombre de sociétés techniques italiennes et était président de l'Associazione elettrotecnica italiana, pour laquelle il dépensait sans réserve une grande partie de son temps.

De nombreuses distinctions honorifiques lui furent décernées en témoignage de reconnaissance pour les services qu'il avait rendus à la science et à l'industrie. Il était officier de l'Ordre de la Légion d'Honneur et, au printemps dernier, la British Institution of electrical Engineers lui avait décerné sa plus haute récompense : la Médaille Faraday.

La mort de C. Semenza laissera d'unanimes regrets dans le monde électrotechnique international où il ne comptait que des amis.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation. — Les deux projets mis à l'enquête sont : projet CNM 221 concernant les fraises à tailler les rainures pour clavettes-disque telles qu'elles ont été définies dans le deuxième projet CNM 64 mis à l'enquête publique en novembre 1929, et projet CNM 231 pour les guides de perçage soumis à l'enquête publique en juin 1929 et qui comporte une importante réduction des modèles par rapport au projet primitif.

Toutes objections à ces deux projets, dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande, pendont la durée de l'enquête, devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 31 mars 1930, date de clôture de l'enquête.

Bibliographie : Leçons sur les systèmes d'équations aux dérivées partielles, par Maurice Janet (1). — Pour étudier une équation aux dérivées partielles, et en particulier pour déterminer ses intégrales, on peut se placer soit au point de vue analytique, soit au point de vue de la physique mathématique. Dans le premier cas les variables peuvent prendre une forme complexe, la solution est définie dans le domaine d'un point donné, par une série entière, l'existence de cette solution est démontrée par la méthode des fonctions majorantes. Dans le second cas, les variables sont essentiellement supposées réelles, on se donne à l'avance un champ où doit être définie la solution, soit qu'on utilise une méthode d'approximations successives analogue à celle de M. Picard, soit qu'on utilise une méthode de décomposition avec passage à la limite, analogue à celle de Fredholm.

Lorsqu'on se place à ce deuxième point de vue, les problèmes se posent de manières bien différentes suivant la nature, réelle ou imaginaire, des caractéristiques. Or la notion même de caractéristique résulte de la discussion du problème fondamental que pose l'étude faite au premier point de vue. La théorie générale des systèmes d'équations aux dérivées partielles doit donc être abordée avant tout totalement. C'est seulement au point de vue analytique local, que l'auteur se place ici.

Riquier et Cartan ont montré vers 1893 et 1901, par deux voies différentes, comment on peut préciser le degré de généralité de la solution d'un système quelconque. On peut d'ailleurs remarquer que grâce à un théorème énoncé par Tresse sur les systèmes à une infinité d'équations, on peut être immédiatement assuré d'obtenir ce degré de généralité par une suite d'applications du théorème de Cauchy.

L'auteur étudie dans cet ouvrage la forme canonique de Riquier en préparant cette étude par celle du « calcul inverse de la dérivation » d'une seule équation aux dérivées partielles d'un système du premier ordre à une seule inconnue. D'autre part, il met en évidence une autre forme canonique, qui a sur la précédente l'avantage d'avoir une définition indépendante des variables choisies ; l'idée de cette deuxième forme se rattache directement aux idées développées par Cartan au sujet des systèmes d'équations de Pfaff; elle est dite « en involution ».

Enfin l'auteur a réuni un certain nombre d'applications particulières des théories précédentes, applications qui pour la plupart proviennent naturellement de certaines questions de géométrie ou d'analyse. — I. F.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 122 pages, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, Paris (6e). Prix : broché, 30 fr.

Bibliographie : Agenda Béranger 1930 (1). — Ce manuel est destiné aux ingénieurs, architectes, mécaniciens, industriels, entrepreneurs, électriciens, amateurs de télégraphie sans fil, automobilistes et en général à tous les praticiens.

Bien qu'englobant des formes assez variées de la technique, il groupe sous des dimensions réduites un ensemble de renseignements pratiques de tous genres.

Après des généralités sur les postes et télégraphes, les poids et mesures français, anglais et américains, on y trouve successivement un chapitre consacré aux mathématiques (valeurs et formules diverses d'algèbre et de trigonométrie), et un chapitre traitant des opérations de banque (calcul des intérêts, amortissements, escomptes, etc).

Le reste de l'ouvrage comprend les renseignements techniques proprement dits subdivisés en chapitres concernant : les travaux publics (arpentage, nivellement, cubature des terrasses, résistance des matériaux, réglementation relative au béton armé); les bâtiments (matériaux de construction, tables de leurs résistances mécaniques, dimensions et poids des fers, tôles, tubes et tuyaux du commerce, indication sur le chauffage central à eau chaude); l'électricité (magnétisme, électrostatique, électromagnétisme, machines électriques, accumulateurs, tables numériques, installations électriques, télégraphie et téléphonie sans fil) ; l'automobile (obtention des papiers nécessaires pour conduire et mettre en circulation une automobile, extraits du Code de la route); l'aéronautique (atmosphère, résistance de l'air, méthode de tracé de profils d'ailes, hélices, renseignements officiels). Chacun de ces chapitres est heureusement complété par des renseignements bibliographiques, qui permettent de se renseigner sur les détails qu'il n'a pas été possible de faire figurer dans cet ouvrage.

Ce petit volume présente sous une forme maniable et peu encombrante un résumé bien ordonné de renseignements utiles à tout technicien. — I. F.

(1) Un volume, format 14 cm × 10 cm, de 338 pages, avec nombreuses figures dans le texte, édité par la librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris (6e). Prix : relié, 16 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Nouveaux dispositifs de mesure de courants alternatifs avec appareils à cadre mobile et aimant permanent

(Suite et fin) (*)

IX. **Interprétation des indications fournies par les appareils munis d'un redresseur.** — 1. Généralités. — Les appareils étant directement gradués en valeurs efficaces du courant alternatif il n'y a pas lieu de faire intervenir aucun facteur de lecture; toutefois, il peut être utile de se rendre compte, pour les différents cas qui peuvent se présenter dans l'industrie, de la relation approchée entre l'angle de déviation du galvanomètre et le courant mesuré. Si l'on fait passer un courant continu dans un élément redresseur en série avec un galvanomètre, il est évident que la déviation sera la même que celle obtenue par le même courant sans redresseur ; il n'en sera pas de même pour un système de redresseurs montés en pont avec galvanomètre placé dans la diagonale. Les redresseurs qui doivent s'opposer au passage de l'onde inverse laissent passer un petit courant de fuite. Le courant passant dans le galvanomètre n'est pas inférieur à 0,9 du courant total lorsque celui-ci est de 5 mA environ (rondelles de 20 mm). Les redresseurs n'étant pas absolument symétriques, la déviation du galvanomètre n'est pas la même pour les deux sens de passage du courant, la différence atteignant au plus 5 pour 100 dans les conditions précitées.

2. Redresseurs montés en pont. — 1° *Ampèremètres.* — Considérons le système redresseur représenté sur la figure 4 supposé alimenté par une source de force électromotrice E. Soient a, b, c, d, g les résistances des quatre redresseurs et du galvanomètre; A, B, C, D, G, les courants correspondants et I le courant à mesurer. Si les redresseurs sont identiques on a pour un sens de courant $a = d$ (résistance inverse), $b = c$ (résistance directe).

Le courant G traversant le galvanomètre est

$$G = \frac{E(b^2 - a^2)}{g(a+b)^2 + 2ab(a+b)},$$

et l'on a pour I

$$I = \frac{E[(a+b)^2 + 2ag + 2bg]}{g(a+b)^2 + 2ab(a+b)},$$

d'où G en fonction de I:

$$G = \frac{I(b^2 - a^2)}{(a+b)^2 + 2(ag + bg)}. \qquad (9)$$

En faisant $c = b = 0$, le galvanomètre se trouve shunté par une résistance égale à $\frac{a}{2}$ et on vérifie bien dans l'expression (9) qu'en valeur absolue

$$G = \frac{a^2 I}{a^2 + 2ag}.$$

Si les redresseurs se comportaient comme des soupapes, les résistances a et d pour le sens de courant considéré seraient infinies et le courant traversant le galvanomètre serait égal à I. Le coefficient de I dans l'expression (9) de G traduit le rapport entre le courant de ligne et le courant qui passe réellement dans le galvanomètre et qu'on pourrait appeler coefficient d'utilisation.

Il dépend évidemment du coefficient de redressement de chaque élément et, par conséquent, de la tension appliquée. Pour des redresseurs travaillant avec une densité de courant correspondant à leur tension maximum, le rapport de la résistance $\frac{a}{b}$ atteint 1 000 ; mais pour les redresseurs du type utilisé pour la mesure des courants et soumis à des courants très faibles le rapport de la résistance inverse sur la résistance directe est d'un ordre deux à quatre fois moins élevé.

2° *Voltmètres.* — Si l'on branche les quatre redresseurs en voltmètre avec une résistance r en série sous une différence de potentiel E, le courant passant dans le galvanomètre sera donné par l'expression

$$G = \frac{E(b^2 - a^2)}{(a+b)^2(r+g) + 2(a+b)(ab + rg)}. \qquad (10)$$

En général, il faut distinguer deux cas selon que le courant est symétrique ou non par rapport à l'axe des abscisses. Dans ce dernier cas, avec une seule cellule, on n'obtiendrait pas la même lecture en inversant les bornes. La valeur moyenne du courant redressé I_{moyr} avec le redressement d'une seule alternance est

$$I_{moyr} = \frac{I_{moya}}{2} = \frac{I_{ma}}{\pi} = 0{,}45\, I. \qquad (11)$$

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 février 1930, t. XXVII, p. 277-284.

I_{moya} étant l'intensité moyenne et I_{ma} l'intensité maximum du courant alternatif; I, sa valeur efficace. La valeur du courant efficace I_r redressé serait

$$I_r = \frac{I}{\sqrt{2}} = \frac{I_{ma}}{2}, \qquad (12)$$

puisque la quantité de chaleur dégagée par ce courant dans une résistance serait deux fois plus petite que celle dégagée par le courant alternatif. Pratiquement, la mesure avec une alternance n'est possible qu'avec un voltmètre, ou un ampèremètre sur shunt, car un redresseur unique intercalé en série dans un circuit y troublerait complètement le régime.

3° *Relations approximatives entre l'angle de déviation du galvanomètre et les courants ou tensions à mesurer.* — Avec un ampèremètre à deux redressements pour un courant sinusoïdal, le courant moyen serait égal à $0{,}9\ I_a$.

La déviation obtenue avec un courant alternatif serait donc 0,9 fois plus petite qu'avec un courant continu égal à la valeur efficace de ce courant si les redresseurs se comportaient comme des soupapes. En réalité, il faut encore tenir compte du coefficient

$$\frac{b^2 - a^2}{(a+b)^2 + 2(ag + bg)},$$

qui varie de 0,7 à 0,95 et qu'il est impossible d'apprécier exactement.

Dans le cas où le galvanomètre est monté en série, la relation entre la tension efficace et le courant moyen traversant le cadre dépend de la valeur de la résistance en série et, par conséquent, de la sensibilité. Pour un élément redresseur monté sans résistance ou avec une résistance très faible, on a approximativement

$$I_{moy} = KU^2,$$

K étant un coefficient variant avec le type de redresseur employé, soit 0,8 environ pour des redresseurs de 47 mm de diamètre. Pour le même cas considéré, mais avec deux redressements, on a

$$I_{moy} = \frac{U}{\pi\sqrt{2}}\left(4K' + KU\sqrt{2}\,\pi\right), \qquad (13)$$

K' étant un coefficient plus petit que K (0,03 environ). Les voltmètres à grande sensibilité ont donc une échelle resserrée au début. Pour un voltmètre de 0,5 v consommant 5 milliampères et comportant une résistance de 30 ohms environ, on est quelquefois obligé de rogner légèrement une des cornes polaires pour resserrer la graduation en fin d'échelle.

La relation entre la tension en courant continu U_c pour le sens direct et la tension alternative U en valeur efficace donnant la même déviation est approximativement donnée par une expression de la forme

$$U = \frac{\sqrt{K'U_c + KU_c^2}}{K}. \qquad (14)$$

Lorsqu'on adjoint au voltmètre une résistance relativement forte devant celle du redresseur, la caractéristique parabolique devient sensiblement rectiligne dès que la tension s'élève un peu. Dans ces conditions, pour un courant sinusoïdal, le rapport entre la tension efficace alternative et la tension redressée tend vers un simple coefficient.

Il en est de même pour un ampèremètre placé directement en série dans une ligne avec quatre redresseurs montés en pont. Le courant alternatif conserve sa forme au delà et en deçà du redresseur et ne change de sens que dans la diagonale où se trouve placé le cadre. Le galvanomètre placé dans la diagonale donne une déviation proportionnelle à

$$\frac{2I_m}{\pi} = 0{,}64\ I_m,$$

I_m étant le courant maximum, alors qu'un appareil placé dans la même diagonale mesurera la valeur efficace du courant redressé

$$I_{effr} = \sqrt{\left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{4I_m}{3\pi\sqrt{2}}\right)^2} = 0{,}7\ I_m.$$

Quels que soient le montage et les sensibilités utilisés, la mesure est toujours exacte dans les limites de fréquence et de température définies pour un appareil donné à condition que la forme du courant à mesurer ne s'éloigne pas beaucoup de celle adoptée pour l'étalonnage, en principe la forme sinusoïdale.

Si le courant à mesurer comporte des harmoniques importants, le rapport entre la valeur efficace alternative et la valeur moyenne redressée — implicitement contenue dans l'étalonnage — change et les indications cessent d'être exactes, principalement pour les voltmètres à grande sensibilité et les ampèremètres shuntés.

Si le courant à mesurer comporte une composante alternative et une composante continue, le galvanomètre employé seul mesurera bien la composante continue; s'il est prévu avec redresseur, la déviation ne sera nullement égale à la somme des indications données séparément par chaque courant, mais une fonction complexe de l'ensemble.

X. **Influence de la forme du courant sur les indications de l'appareil.** — 1. Généralités. — Connaissant la courbe $i = f(u)$, caractéristique du redresseur et celle $u = \varphi(t)$ de la tension, on pourra toujours déduire la courbe du courant $i = f(t)$ dans le redresseur. La surface comprise entre cette courbe et l'axe des abscisses divisée par la longueur correspondant à une demi-période donnera l'intensité moyenne et la racine carrée de la moyenne des carrés des ordonnées, l'ordonnée efficace.

L'appareil étant gradué en valeurs efficaces alternatives et la déviation du galvanomètre, proportionnelle à l'intensité moyenne du courant redressé, on peut

déduire de la connaissance de ces deux valeurs les erreurs pouvant être occasionnées par les harmoniques, quand les conditions d'étalonnage sont définies. Sauf pour des cas exceptionnels, les appareils sont étalonnés sur des sources fournissant des courants sinusoïdaux aussi purs que possible.

Si le redresseur est monté en voltmètre avec une résistance en série, on ajoute à la différence de potentiel u provoquée par le courant I dans le redresseur la chute de tension RI dans la résistance.

On déduit ainsi de la caractéristique $i = f(u)$ la nouvelle caractéristique de l'ensemble pour les mêmes courants et, par conséquent, la courbe du courant en fonction du temps, pour une forme quelconque de la tension d'alimentation.

Les résultats fournis par la méthode graphique, qui dérivent d'ailleurs directement des données expérimentales, ont été vérifiés par des essais directs.

2. Description des essais. — Les voltmètres à redresseurs ont été étalonnés sous tension sinusoïdale fournie par un induit à tambour comportant une seule bobine et les harmoniques d'ordre supérieur dus à l'asymétrie du paquet de tôles, éliminés par un filtre, ont été soumis à des tensions plus ou moins irrégulières provenant de différentes machines. Ces harmoniques étaient d'amplitudes faibles et de fréquences élevées (induits à grand nombre de dents). Il a été procédé ensuite à des essais sur courbes déformées en alimentant des bobines d'inductances à fer fortement saturé, le voltmètre étant branché aux bornes d'une résistance non inductive intercalée dans le circuit. Un jeu de capacités permettait d'amplifier certains harmoniques, la valeur de ceux-ci étant déterminée par la méthode du wattmètre. Afin d'étudier l'action d'un harmonique défini, nous avons utilisé deux machines solidaires fournissant toutes les deux une tension sinusoïdale, mais comportant un nombre de pôles différents. Une première machine fournissait au circuit la tension fondamentale à laquelle on superposait l'harmonique 3, 5 ou 7 d'amplitude variable, à l'aide d'un petit transformateur sans fer. Les courants étaient réglés en agissant sur l'excitation des machines et sur un potentiomètre. Le déphasage pouvait être réglé et considéré comme fixe pendant la durée de la mesure, la fréquence voulue étant obtenue par un jeu de poulies.

3. Influence des harmoniques déduite graphiquement des caractéristiques du redresseur. — 1° *Voltmètre sans résistance extérieure.* — La figure 7 est relative à un redresseur monté directement en voltmètre sur une tension alternative sinusoïdale. Les valeurs du courant en fonction de la tension correspondent à la courbe caractéristique expérimentale (fig. 8) relevée en courant continu avec un élément redresseur. La déformation est, comme il était facile de le prévoir, particulièrement sensible pour les faibles valeurs de la tension correspondant à la partie infléchie de la caractéristique. Dans cette région le coefficient de redressement est très faible et le courant, sensiblement le même pour les deux sens. Dans le cas de redresseurs associés

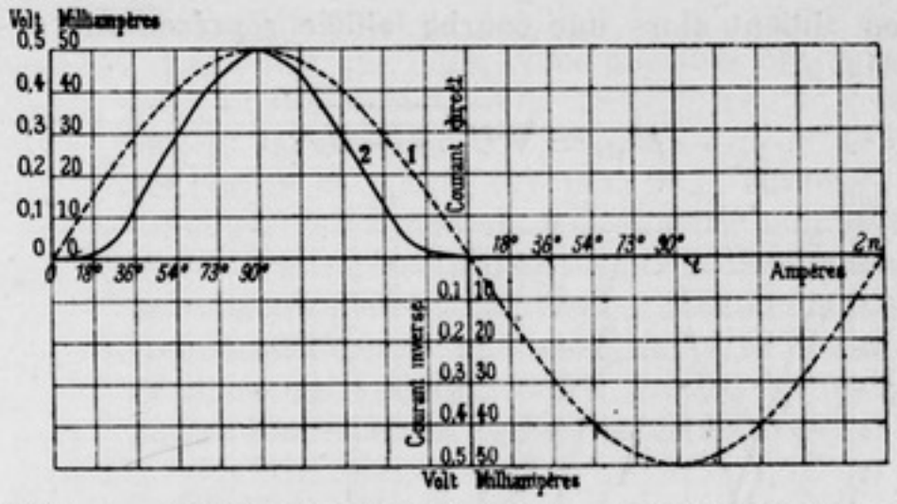


Fig. 7. — Courbe du courant (courbe en trait plein) dans un élément redresseur placé directement sous une tension sinusoïdale (courbe en trait interrompu).

pour redresser les deux alternances, les résultats sont sensiblement les mêmes ; mais dans l'évaluation du courant moyen, on devrait retrancher de la surface correspondant au courant de sens direct la surface

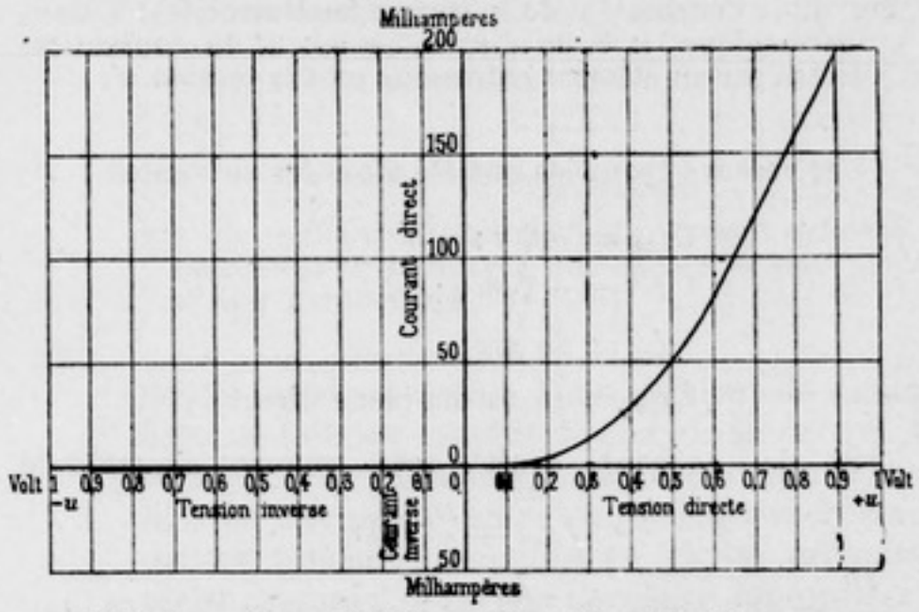


Fig. 8. — Caractéristique d'un élément redresseur pour appareils de mesure (rondelles de 20 mm de diamètre).

correspondant au sens du courant indirect, qui est très petite et qu'on peut pratiquement négliger.

Pour le cas considéré on avait

$$U_1 = \frac{0,5}{\sqrt{2}} = 0,355 \text{ v};$$

$$I_m = 50 \text{ ma};$$

I_{1moy} (sens direct) = 21,3 ma pour un courant sinusoïdal

$$I_{moy} = 32 \text{ ma},$$

$\frac{I_m}{I_{1moy}} = 2,33$ (facteur d'amplitude) et $\frac{U_1}{I_{moy}} = 16,6$ ohms.

A la tension de forme sinusoïdale,

$$U_{1m} = 0,5 \text{ v}$$

a été superposée une tension de fréquence triple (harmonique 3)

$$U_{3max} = 0{,}1 \text{ v};$$

on obtient alors une courbe effilée représentant u (fig. 9)

$$U'_{eff} = \sqrt{U_1^2{}_{eff} + U_3^2{}_{eff}}.$$

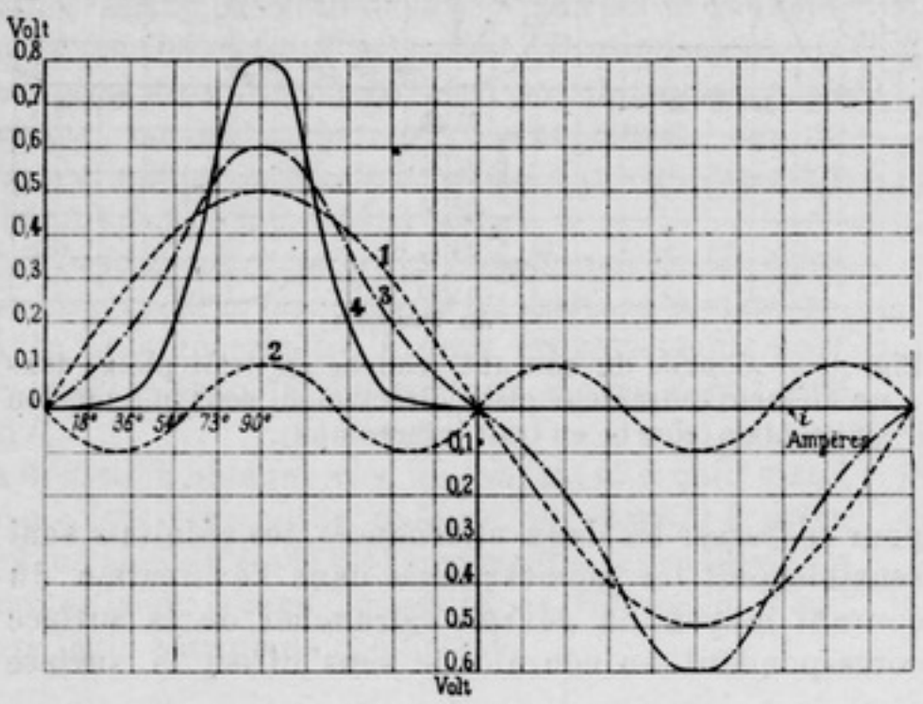


Fig. 9. — Courbes : 1, de u_1 (terme fondamentale) ; 2, de u_3 (harmonique 3); 3, de $u' = u_1 + u_3$; 4, du courant redressé par un élément redresseur sous la tension u'.

Les valeurs trouvées ont été alors les suivantes :

$$U'_m = 0{,}6 \text{ v};$$
$$U' = 0{,}326 \text{ v};$$
$$I_m = 80 \text{ mA};$$
$$I_{moy} = 24{,}42 \text{ mA (sens direct)}.$$

Si le courant avait une valeur sinusoïdale

$$I_{moy} = 51 \text{ mA}.$$

$\frac{U'}{I_{moy}} = 13{,}4$ ohms et $\frac{I_m'}{I_{moy}} = 3{,}27$ (facteur d'amplitude).

L'appareil donne des indications plus élevées que celles correspondant à la courbe sinusoïdale.

La valeur efficace de la tension (courbe sinusoïdale) étant peu différente de celle obtenue avec la tension déformée, on peut admettre dans ces limites la proportionnalité de la tension efficace à la valeur moyenne du courant et calculer l'erreur avec les chiffres précédemment obtenus.

Les valeurs trouvées en faisant intervenir (fig. 10) l'harmonique 5 sont consignées ci-après :

Terme fondamental $U_{1m} = 0{,}5$ v;

Harmonique $U_{5m} = 0{,}025$ v;

$$U' = 0{,}342 \text{ v}; \quad I_{moy} = 21{,}44 \text{ mA};$$
$$\frac{U'}{I_{moy}} = 16{,}5 \text{ ohms}; \quad \frac{I_m}{I_{moy}} = 1{,}95.$$

L'appareil avance légèrement avec une erreur trois fois plus petite que pour le cas précédent.

2° *Voltmètre à redresseur branché avec une résistance en série.* — La caractéristique du redresseur est indiquée sur la figure 11. Pour une résistance égale à

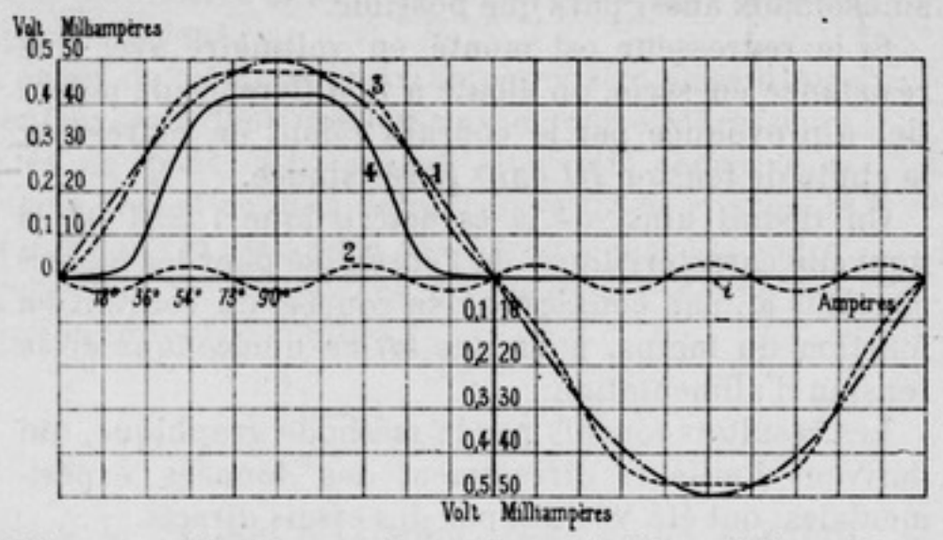


Fig. 10. — Courbes : 1, de u_1 (terme fondamental); 2, de u_5 (harmonique 5); 3, de $u' = u_1 + u_5$; 4, du courant redressé par un élément redresseur sous la tension u'.

30 ohms, les courants déduits de cette caractéristique sont représentés sur la figure 12 pour une tension sinusoïdale et sur la figure 13 pour la même tension déformée par l'harmonique 3. Comme on le voit, les courants sont

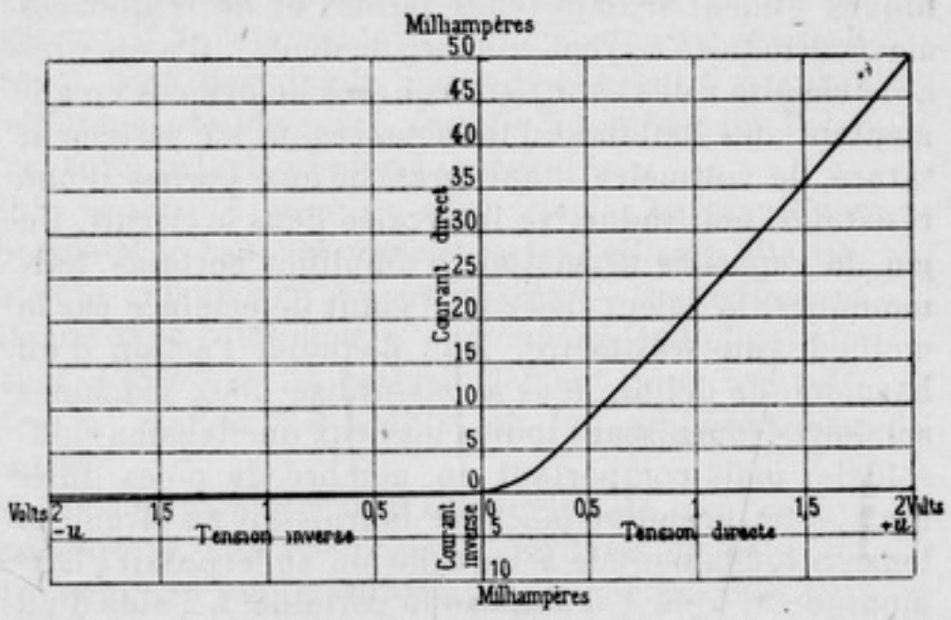


Fig. 11. — Caractéristique $i = f(u)$ d'un redresseur en série avec une résistance de 30 ohms.

très peu déformés, sauf dans la région correspondant aux très petites tensions. Pour la tension sinusoïdale on avait, en désignant par i_{moy} le courant inverse,

$$U = 1{,}41 \text{ v}; \quad U_{moy} = 1{,}26 \text{ v};$$
$$I_{moy} = 29{,}4 \text{ mA}; \quad i_{moy} = 6{,}86 \text{ mA};$$
$$\frac{U}{I_{moy}} = 48 \text{ ohms} \quad \text{et} \quad \frac{I_m}{I_{moy}} = 1{,}7.$$

Si le courant est exactement sinusoïdal on aurait

$$\frac{I_m}{I_{moy}} = 1{,}57;$$

la courbe était donc peu déformée.

Pour comparer ces chiffres à ceux trouvés pour les cas précédents, il faut considérer la tension aux bornes du redresseur, soit

$$2 - 0{,}050 \times 30 = 0{,}5 \text{ v};$$

on a alors

$$\frac{U}{I_{moy}} = 12{,}1 \text{ ohms.}$$

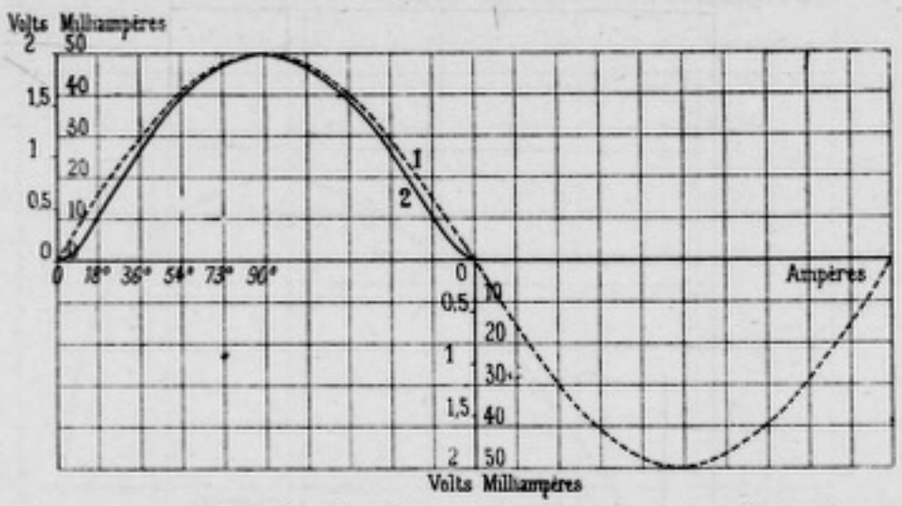


Fig. 12. — Courbe (trait plein) du courant redressé par un redresseur en série avec une résistance sous une tension sinusoïdale (trait ponctué).

Si le courant n'était pas déformé on aurait

$$\frac{U}{I_{moy}} = 11{,}1 \text{ ohms.}$$

Avec la tension déformée on a (fig. 13) :

Terme fondamental $U_1 = 2{,}4$ v;

harmonique 3 $U_3 = 0{,}4$ v,

$$U' = 1{,}36 \text{ v}; \quad I_{moy} = 26{,}30 \text{ mA},$$

$$\frac{U'}{I_{moy}} = 52 \text{ ohms} \quad \text{et} \quad \frac{I_m}{I_{moy}} = 2{,}34.$$

Dans ce cas l'appareil tend à retarder.

4. Conclusions. — Les erreurs déterminées par la forme du courant sont surtout sensibles pour les voltmètres et d'autant plus élevées que la sensibilité est plus grande, les harmoniques donnant des courbes aigües étant les plus défavorables. Lorsque la consommation d'énergie s'approche du maximum toléré par le redresseur ou lorsque la résistance non inductive en série est de l'ordre de trois à six fois la résistance du redresseur, pour le courant considéré, l'influence déformante de la caractéristique au voisinage de l'origine prend relativement moins d'importance et les valeurs moyennes ou efficaces des courants redressés se rapprochent des valeurs correspondantes en courant alternatif. Comme la consommation d'énergie est généralement imposée et que, par ailleurs, l'intérêt même de ces appareils réside dans le fait de pouvoir opérer des mesures avec des consommations réduites, on aurait intérêt à utiliser pour des faibles courants des redresseurs de petites surfaces de façon à se rapprocher de la densité optimum compatible avec les conditions d'échauffement et de stabilité.

Les essais que nous avons effectués ont montré que pour un redresseur associé à un appareil de mesure on obtient de bons résultats avec une densité de courant de l'ordre de 0,25 à 0,3 mA : mm² environ, ce qui conduirait, en supposant les rondelles non percées au centre, à la surface utile d'un cercle de 6 mm environ de diamètre pour les redresseurs fonctionnant avec les voltmètres et ampèremètres courants, au lieu de 20 mm de diamètre utilisés jusqu'à présent pour les plus petites rondelles. La réalisation de redresseurs d'aussi

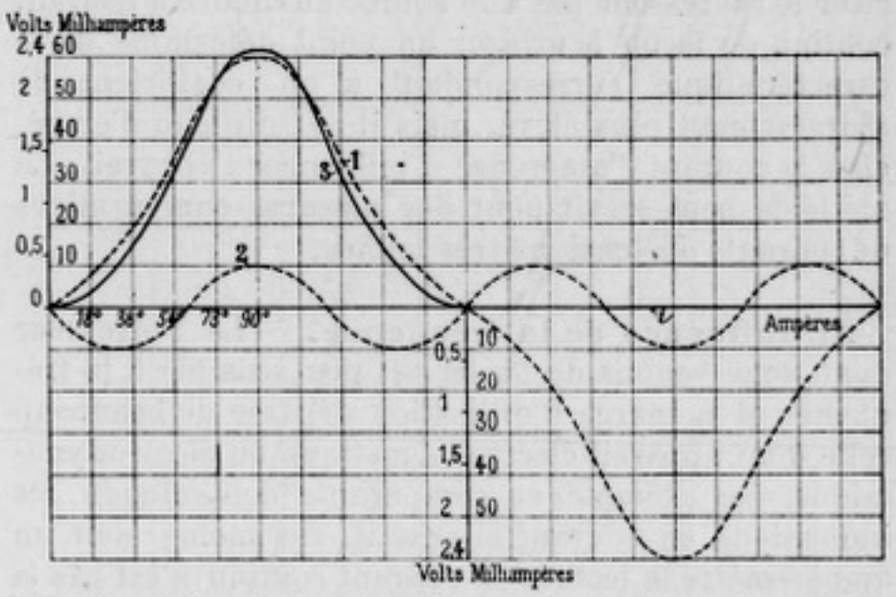


Fig. 13. — Courbe (trait plein) du courant redressé par un redresseur en série avec une résistance sous une tension u' avec harmonique 3.

petite surface présente l'inconvénient de diminuer la ligne de fuite du courant de l'oxyde au cuivre. Au lieu de réduire les diamètres, nous avons diminué la surface utile en interposant entre les rondelles redressantes de petites rondelles isolantes en papier présentant un secteur ajouré d'ouverture angulaire appropriée.

La plasticité des disques de plomb permet d'obtenir un bon contact sur toute la surface du secteur. On constate alors en effet que les erreurs occasionnées par les harmoniques sont moins grandes et que la graduation est moins resserrée au début de l'échelle que dans les voltmètres sensibles, mais la résistance est augmentée, de sorte que pour faire passer le même courant, on est obligé de soumettre les redresseurs à surface réduite à une tension plus grande.

Il semble donc que pour la mesure de faibles tensions il y aurait avantage pour le redressement des deux alternances à substituer au montage en pont, très pratique mais utilisant pour chaque alternance deux éléments de redresseurs en série, un autre montage dans lequel un élément redresseur serait soumis à la tension totale. Le branchement avec deux redresseurs et galvanomètre branché au point neutre d'un secondaire de transformateur (fig. 3) répond à ces condition, mais offre l'inconvénient d'être plus coûteux et de

ne pouvoir être logé dans le boîtier de l'appareil. Une simplification consisterait à remplacer le transformateur par un autotransformateur avec prises symétriques, ou encore plus simplement par une résistance montée en potentiomètre, qui offre, il est vrai, l'inconvénient de consommer une certaine quantité d'énergie. Une autre disposition consiste à utiliser pour l'appareil de mesure deux enroulements bobinés sur une carcasse unique ou sur deux carcasses séparées, chacun des enroulements étant en série avec un redresseur et parcouru par une alternance du courant redressé. Ces dispositions un peu plus compliquées que le montage ordinaire en pont de Wheatstone peuvent rendre des services dans des cas particuliers.

Nous avons envisagé un procédé consistant à polariser le redresseur par une source auxiliaire à courant continu de façon à utiliser un point déterminé de la caractéristique correspondant à un coefficient de redressement plus élevé, mais il est difficile d'empêcher le courant d'amorçage d'influencer l'appareil. La méthode peut servir pour des mesures comparatives de courants ou tensions très faibles.

XI. **Influence de la fréquence**. — Le redresseur dont nous venons de parler est peu sensible à la fréquence et la marge d'utilisation dépasse de beaucoup celle d'un appareil électromagnétique ou électrodynamique, par exemple, en comparant, bien entendu, les indications en courant alternatif, car même pour un ampèremètre la lecture en courant continu n'est pas la même qu'en courant alternatif et, à ce point de vue, on peut dire que pour la fréquence zéro l'erreur est élevée.

Dans des conditions défavorables (voltmètres à grande sensibilité donnant la déviation totale pour 0,5 v et 1 v, avec un courant de 5 mA), nous avons trouvé une erreur inférieure à 0,5 pour 100 sous une tension sinusoïdale dont la fréquence variait de 12 à 100 p:s. Au-dessous de 12 p:s, les vibrations de l'aiguille deviennent gênantes. De 100 à 1000 p:s les erreurs sont encore très petites, mais de 1000 à 10000 p:s elles peuvent atteindre 10 à 15 pour 100 pour un voltmètre sensible. Pour un milliampèremètre direct les erreurs dans les mêmes conditions ne dépassaient pas 2 pour 100. Ces appareils fonctionnent encore pour une fréquence déterminée pouvant atteindre 20000 p:s. Pour les fréquences radiotélégraphiques, l'appareil ne donne plus d'indications, car la capacité intérieure du redresseur peut laisser passer presque la totalité du courant.

Aux fréquences industrielles, la self-inductance du cadre est négligeable vis-à-vis de la résistance, mais intervient aux fréquences élevées et varie avec la position du cadre par rapport aux pièces polaires. Elle tend à amortir les harmoniques élevés. On a vu que la tension sinusoïdale redressée pouvait se mettre sous la forme

$$E_r = E_{moy} + A_2 \cos 2\omega t.$$

en négligeant les termes de fréquences supérieures. Si le redresseur débite sur une résistance R, le courant ne sera pas déphasé par rapport à la tension

$$I_r = \frac{E_{moy} + A_2 \cos 2\omega t}{R}.$$

Lorsqu'une source à tension continue de force électromotrice opposée est intercalée dans le circuit du redresseur, le courant ne s'établira que lorsque la tension de celui-ci dépassera la force électromotrice de la source. Si le redresseur débite sur une self-inductance, le courant redressé ne conserve plus la même forme ni la même phase que la tension redressée. La partie alternative induit dans l'inductance une tension de fréquence double de la tension de la source. La self-inductance tend à s'opposer à l'établissement de la demi-onde de courant et à prolonger sa durée au

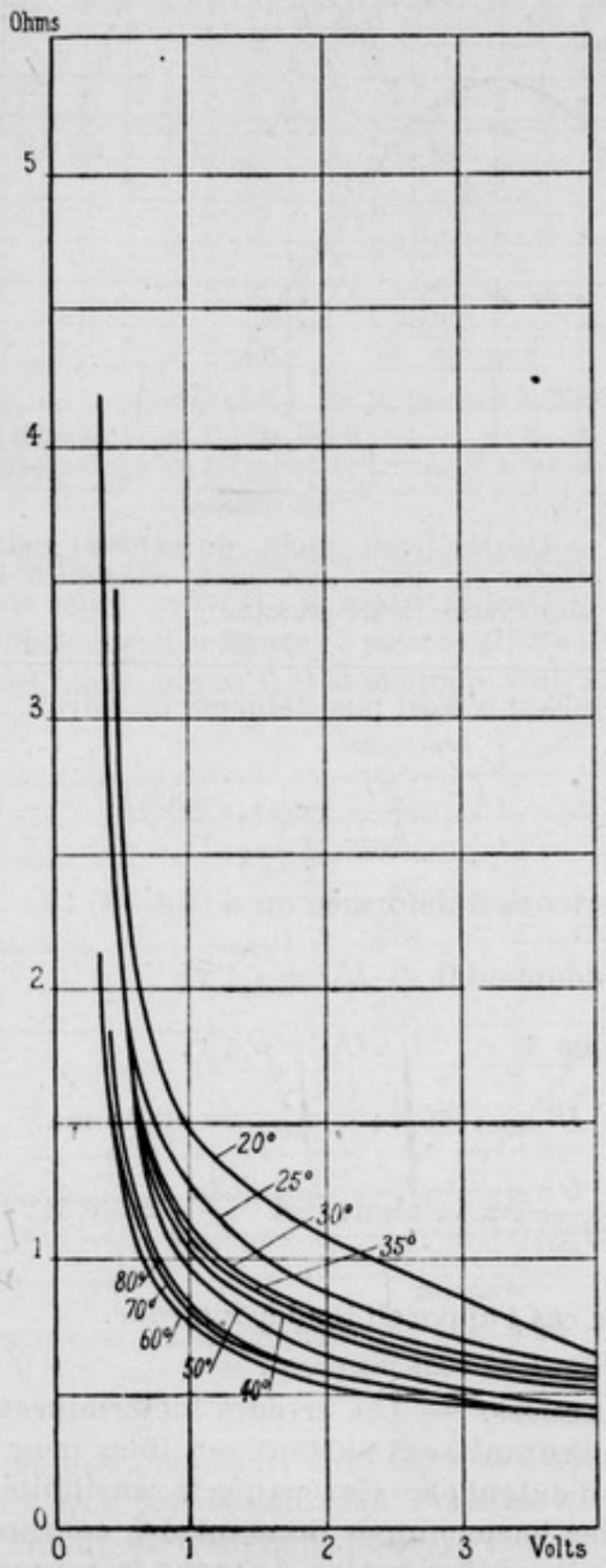


Fig. 14. — Courbes montrant les variations de la résistance directe avec la tension d'un redresseur à oxyde de cuivre pour différentes températures.

moment où l'onde suivante commence à s'établir. Cet effet a pour résultat d'aplatir les sommets des courbes de courant et de les faire empiéter l'une par rapport à l'autre dans une région plus ou moins étendue correspondant à leur point de jonction, de sorte que le courant redressé ne devient à aucun moment égal à zéro. Le débit est plus régulier.

XII. **Action de la température.** — Lorsque la température s'élève, la résistance directe décroît (fig. 14).

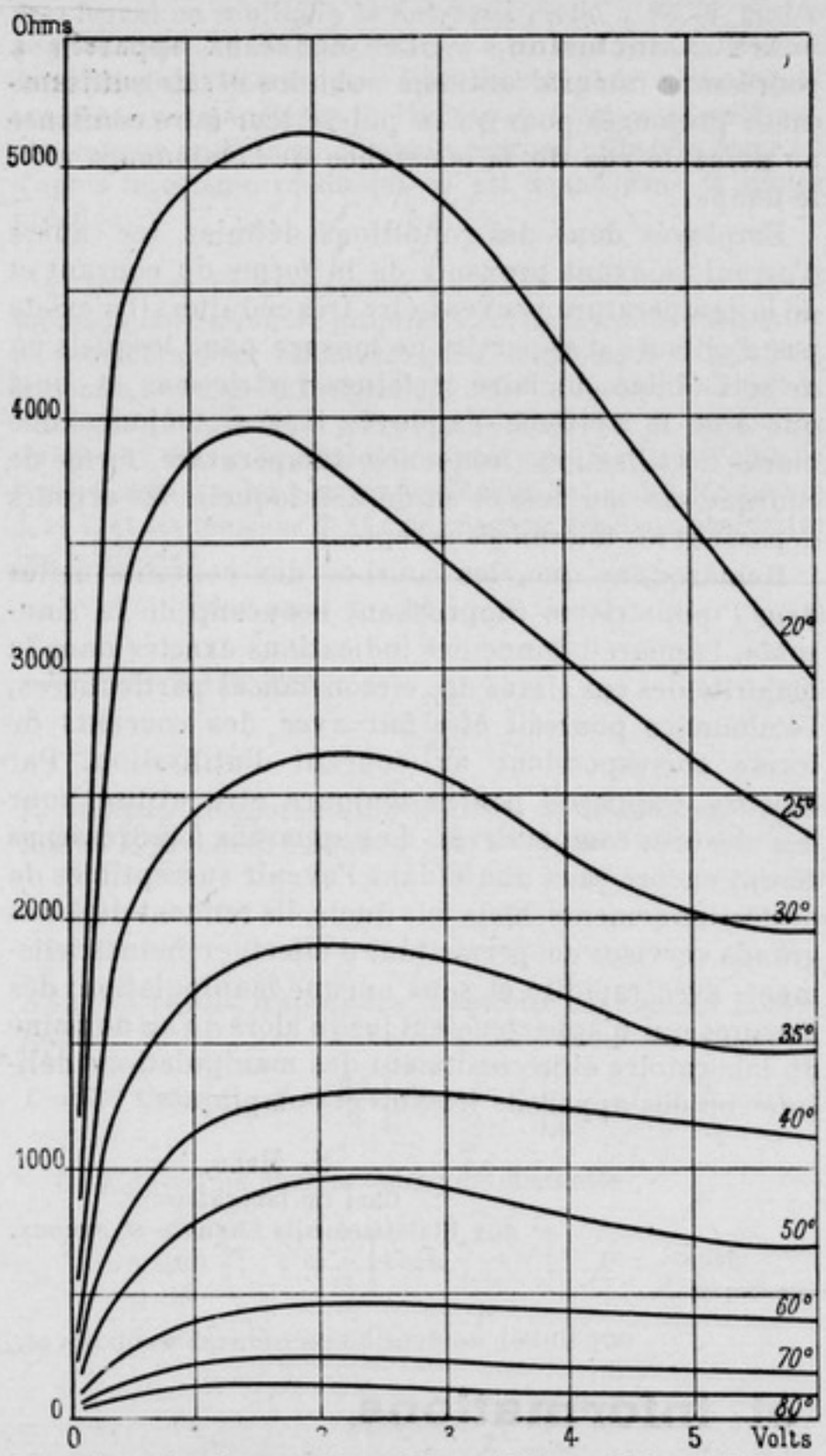


Fig. 15. — Courbes montrant les variations de la résistance inverse avec la tension d'un redresseur à oxyde de cuivre et cuivre à diverses températures.

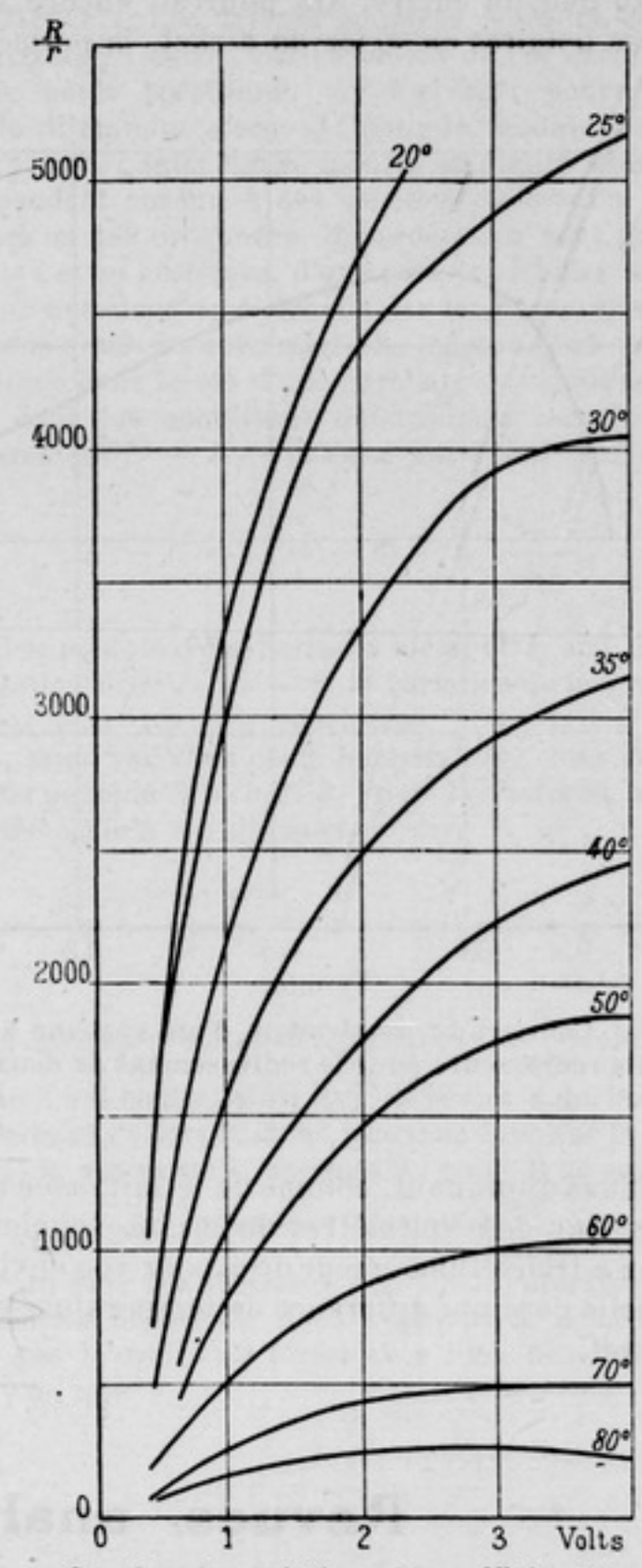


Fig. 16. — Courbes de variations du coefficient de redressement avec la tension d'un redresseur à oxyde de cuivre et cuivre à diverses températures.

La résistance inverse décroît plus rapidement avec la température que la résistance directe (fig. 15), de sorte que le rapport de redressement diminue. Si on soumet le redresseur à différentes températures élevées régulièrement croissantes en le ramenant chaque fois à la température initiale, on ne retrouve pas exactement pour les résistances les mêmes valeurs sous une tension déterminée. La résistance directe s'élève, alors que la résistance inverse décroît. Le rapport de redressement s'abaisse. Ces effets subsistent un certain temps, puis le redresseur reprend lentement son état d'équilibre stable; mais une légère variation des constantes peut subsister. Le rendement d'un redresseur porté à une température élevée, puis ramené à la température initiale tend à diminuer. On ne doit pas dépasser une certaine densité de courant, 0,025 A : cm², pour obtenir un régime de fonctionnement stable. Les variations de la température ont pour effet de déformer la caractéristique du redresseur (fig. 16). Ces effets n'impliquent nullement des erreurs proportionnelles lorsque les redresseurs sont associés avec un appareil de mesure. Avec un ampèremètre direct ou un voltmètre à résistance élevée,

l'influence de la température est faible. Pour les milliampèremètres sur shunts ou les voltmètres sensibles, une augmentation de la température fait avancer l'appareil et élargit la graduation au début de l'échelle, car l'augmentation du courant de fuite (montage en pont) est négligeable vis-à-vis de la diminution de la résistance directe. On peut compenser ces effets en disposant en série avec le cadre mobile une résistance à fort coefficient de température. Pour des raisons d'encombrement nous avons été conduit à utiliser un alliage au nickel au lieu du cuivre. On pourrait encore utiliser des pièces polaires en acier au nickel, la perméabilité

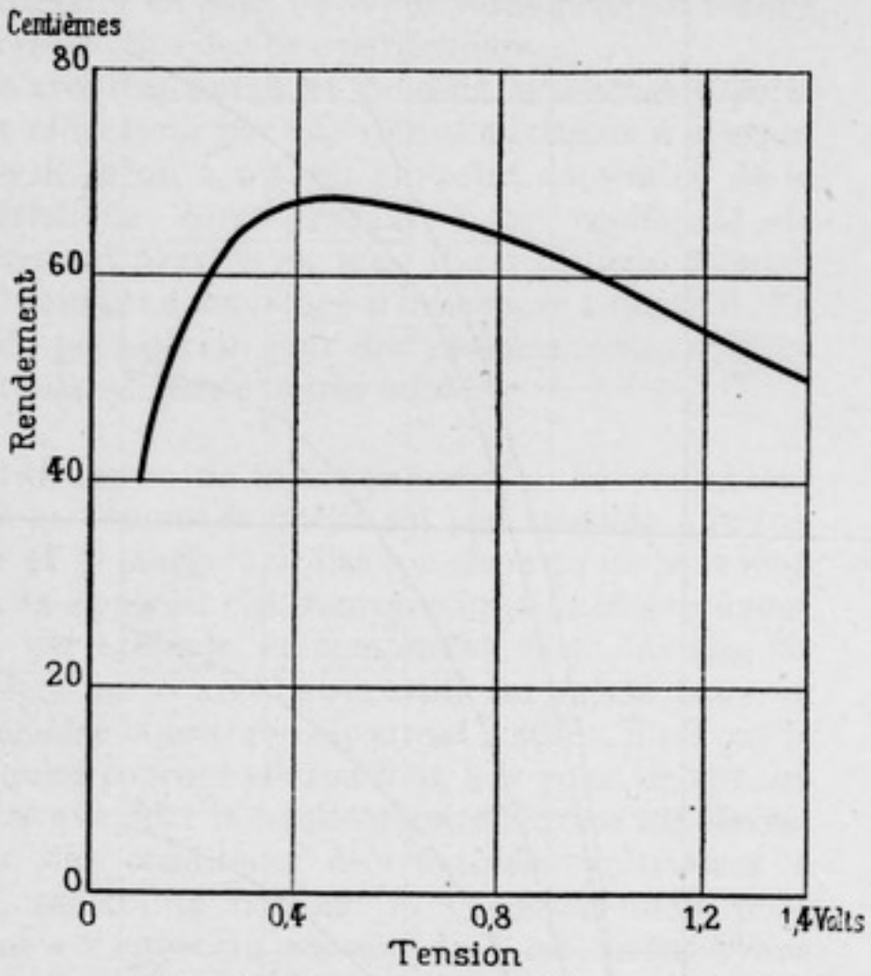


Fig. 17. — Courbes du rendement d'un système à quatre éléments redresseurs pour le redressement de deux alternances.

de cet alliage diminuant, comme on le sait, avec la température. Sur des voltmètres de 1,25 à 3 v non compensés on a trouvé une erreur de 2 pour 100 environ en fin d'échelle pour une différence de température variant de 20 à 40°C.

XIII. **Rendement.** — Le rendement pour une puissance moyenne d'un redresseur à quatre éléments est indiqué sur la figure 17. Il exprime la proportion de l'énergie débitée en courant continu à l'énergie fournie en courant alternatif. Le rendement du redresseur pour ces tensions très basses tend vers zéro, mais peut être supérieur à 0,40, aux tensions normales d'utilisation. Pour les courants faibles, le rendement serait sans doute amélioré en utilisant des rondelles de petit diamètre.

XIV. **Conclusion**. — Les nouveaux appareils à redresseur intégral ont déjà subi des essais suffisamment prolongés pour qu'on puisse leur faire confiance au point de vue de la constance de l'étalonnage avec le temps.

Employés dans des conditions définies, les causes d'erreur pouvant provenir de la forme du courant et de la température peuvent être très réduites. Il n'existe pas d'ailleurs d'appareils de mesure pour lesquels on ne soit obligé de faire certaines restrictions et, quel que soit le système employé, il y a toujours une marge d'utilisation (fréquence, température, forme de courant, etc.) au delà et en deçà de laquelle les erreurs dépassent les tolérances acceptées.

Remarquons que, les courbes des courants usités dans l'industrie se rapprochant beaucoup de la sinusoïde, l'appareil donne des indications exactes dans la majorité des cas. Dans des circonstances particulières, l'étalonnage pourrait être fait avec des courants de forme correspondant au courant d'utilisation. Par ailleurs, l'appareil pourra toujours être utilisé pour des mesures comparatives. Les appareils à redresseurs seront encore sans doute dans l'avenir susceptibles de perfectionnements, mais tels quels, ils rendent déjà des grands services en permettant d'effectuer industriellement, avec rapidité et sans aucune manipulation, des mesures qui n'appartenaient jusqu'alors qu'au domaine du laboratoire et nécessitaient des manipulations délicates ou des appareils fragiles et compliqués.

S. Held,
Chef du laboratoire
aux Etablissements Chauvin et Arnoux.

Revues, analyses et informations

Calculs mécaniques des lignes aériennes : méthode de Percy-H. Thomas.

1. Introduction. — La Société L'Aluminium français a publié récemment une notice intitulée « L'aluminium dans l'électricité », et dans laquelle sont réunis tous les éléments relatifs aux calculs des lignes aériennes au point de vue mécanique. L'exposé du principe de ces calculs est suivi de données précises sur son application aux lignes en aluminium et c'est là, comme le fait ressortir M. Blondel dans la préface consacrée à cette brochure, l'intérêt essentiel de cette publication : « On manquait jusqu'ici de tables et d'abaques assez développés pour les canalisations en aluminium et on doit savoir gré à la Société L'Aluminium français de vouloir bien mettre à la portée de tous les résultats de ses calculs. »

Nous n'avons pas à revenir ici sur l'équation de la chaînette qui définit la figure d'équilibre du fil et de laquelle sont déduites la tension et la flèche du conducteur dans des conditions déterminées. Nous n'insisterons pas non plus sur

les abaques que M. Blondel a établis en 1902, pour les modifier et les perfectionner en 1914, et qui correspondent au cas des fils ou câbles de cuivre ; nous soulignerons uniquement, à ce propos, le fait que ces abaques ont été repris et établis pour leur application aux conducteurs en aluminium. On trouve, dans ladite notice, l'exposé du principe de ces abaques, ainsi que leur reproduction très nette. et la façon de s'en servir dans les divers cas qui se présentent dans la pratique : cas des portées habituelles et celui des grandes portées.

Le dernier cas se résout, suivant le procédé indiqué par M. Blondel, par l'introduction d'un facteur de correction k par lequel on multiplie la longueur réelle a de la portée pour connaître la longueur fictive $a_1 = ka$ à faire intervenir dans le calcul Mais on peut aussi recourir à la méthode proposée en 1911 par Percy-H. Thomas (1). C'est cette méthode, peu connue en France, que nous croyons utile d'exposer ici d'après le compte rendu qui en est donné dans la notice précitée.

2. Principe de la méthode de P.-H. Thomas. — Cette méthode répose sur les propriétés suivantes de la chaînette : on considère deux chaînettes géométriquement semblables, la portée de l'une étant égale à a, celle de l'autre, à 1; l'effort vertical de la première par unité de longueur et de section du fil qui forme la chaînette étant égal à ϖ, et celui de l'autre, égal à 1, on a entre les flèches f et φ, les longueurs L et λ, et les tensions T et t de chacune des deux chaînettes les relations

$$f = a\varphi; \quad L = a\lambda; \quad T = a\varpi t. \qquad (1)$$

En effet, si l'on pose

$$\tau = \frac{2T_0}{a\varpi},$$

T_0 étant la composante horizontale de la tension, l'équation de la première chaînette peut s'écrire

$$y = \frac{a}{2}\tau \cosh\frac{2x}{a\tau},$$

d'où l'on déduit, d'après les propriétés connues de la chaînette

$$L = a\tau \sinh\frac{1}{\tau}; \quad f = \frac{a\tau}{2}\left[\cosh\frac{1}{\tau} - 1\right]; \quad T = T_0 \cosh\frac{1}{\tau}.$$

On a de même pour la deuxième chaînette

$$\lambda = \tau \sinh\frac{1}{\tau}; \quad \varphi = \frac{\tau}{2}\left[\cosh\frac{1}{\tau} - 1\right]; \quad t = \frac{\tau}{2}\cosh\frac{1}{\tau};$$

de ces deux dernières relations on déduit que

$$\varphi = t - \frac{\tau}{2}.$$

Enfin l'angle α que forme la chaînette au point d'attache est défini par

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{2t}.$$

Les relations relatives à la chaînette réduite montrent que les éléments caractéristiques, λ, t, φ et α dépendent d'un seul paramètre, τ. On peut aussi éliminer τ et prendre comme paramètre la tension t et construire les courbes

$$\lambda = F(t) \quad \text{et} \quad \varphi = f(t).$$

C'est l'ensemble de ces deux courbes qui constitue l'abaque de Thomas ; il est facile, connaissant λ et φ en fonction de t, de déterminer par les relations (1) les valeurs de L, f et T de la chaînette de portée égale à a.

3. Application de l'abaque de P.-H. Thomas. — Cet abaque établi pour des conducteurs en aluminium, est représenté sur la figure 1. Les valeurs adoptées pour les constantes caractéristiques dans l'établissement de ces abaques sont : pour le poids spécifique, 2,7 kg : dm³ ; pour le cœfficient de dilatation, 0,000023 ; pour le module d'élasticité, 6 500 kg : mm² ; cette figure montre en réalité trois abaques correspondant chacun à des échelles différentes pour les abscisses et les ordonnées. En ordonnées sont portées les tensions t et en abscisses, d'une part, les flèches et, d'autre part, sur une deuxième échelle les longueurs des portées. Proposons-nous de déterminer la tension T' et la flèche f d'une ligne dans le cas d'une surcharge, connaissant la tension T dans des conditions déterminées, sans surcharge. L'allongement $L' - L$ de la ligne est défini par la relation

$$L' - L = L\alpha(\theta' - \theta) + L\frac{T' - T}{E},$$

E étant le module d'élasticité du métal et α, son coefficient de dilatation linéaire ; $\theta' - \theta$, la variation de la température dans les deux régimes considérés. S'il s'agit d'une surcharge, sans variation de la température, cette relation se simplifie puisque $\theta' - \theta = 0$. Pour la chaînette semblable de portée égale à 1, l'allongement sera

$$\lambda' - \lambda = \lambda\frac{T' - T}{E}, \text{ d'où } \lambda' = \lambda\left(1 - \frac{T}{E} + \frac{T'}{E}\right).$$

Nous calculons la tension t qui est égal à $\frac{T}{a\varpi}$, valeur connue puisque T est connu, ainsi que la portée a de la chaînette considérée et l'effort ϖ. Nous trouvons donc sur la courbe de $\lambda = f(t)$ la valeur de λ, abscisse du point M de cette courbe (fig. 2) qui a pour ordonnée t. Calculons $\frac{\lambda T}{E}$ et portons cette valeur sur l'axe des abscisses, à partir de l'abscisse de M vers les abscisses négatives. Nous obtenons le point a. Remarquons que la droite aM forme avec l'axe des ordonnées un angle γ tel que

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\lambda\frac{T}{E}}{t} = \frac{\lambda a\varpi}{E}.$$

Cette remarque nous permet de trouver sur la courbe de λ le point M' d'ordonnée t', correspondant à T'. Du point a nous construisons la droite a M' formant avec l'axe des ordonnées un angle γ' tel que

$$\operatorname{tg}\gamma' = \frac{\lambda a m\varpi}{E},$$

m étant le coefficient de surcharge défini comme dans l'application des abaques de M. Blondel ; cette droite est facile à construire : il suffit de porter un segment bc tel que

(1) Percy-H. Thomas ; Sag calculations forsuspended wires. *Proceedings of the american Institute of electrical Engineers*, juin 1911, t. xxx, p. 1131-1141.

bc = $m \times$ bM et de joindre a et c. L'ordonnée de M′ ainsi déterminée représente t' et l'abscisse, λ'. Prolongeons l'horizontale de M′ jusqu'à son intersection en N′ avec la courbe de $\varphi = f(t)$; l'abscisse de N′ représente la flèche φ', et l'on

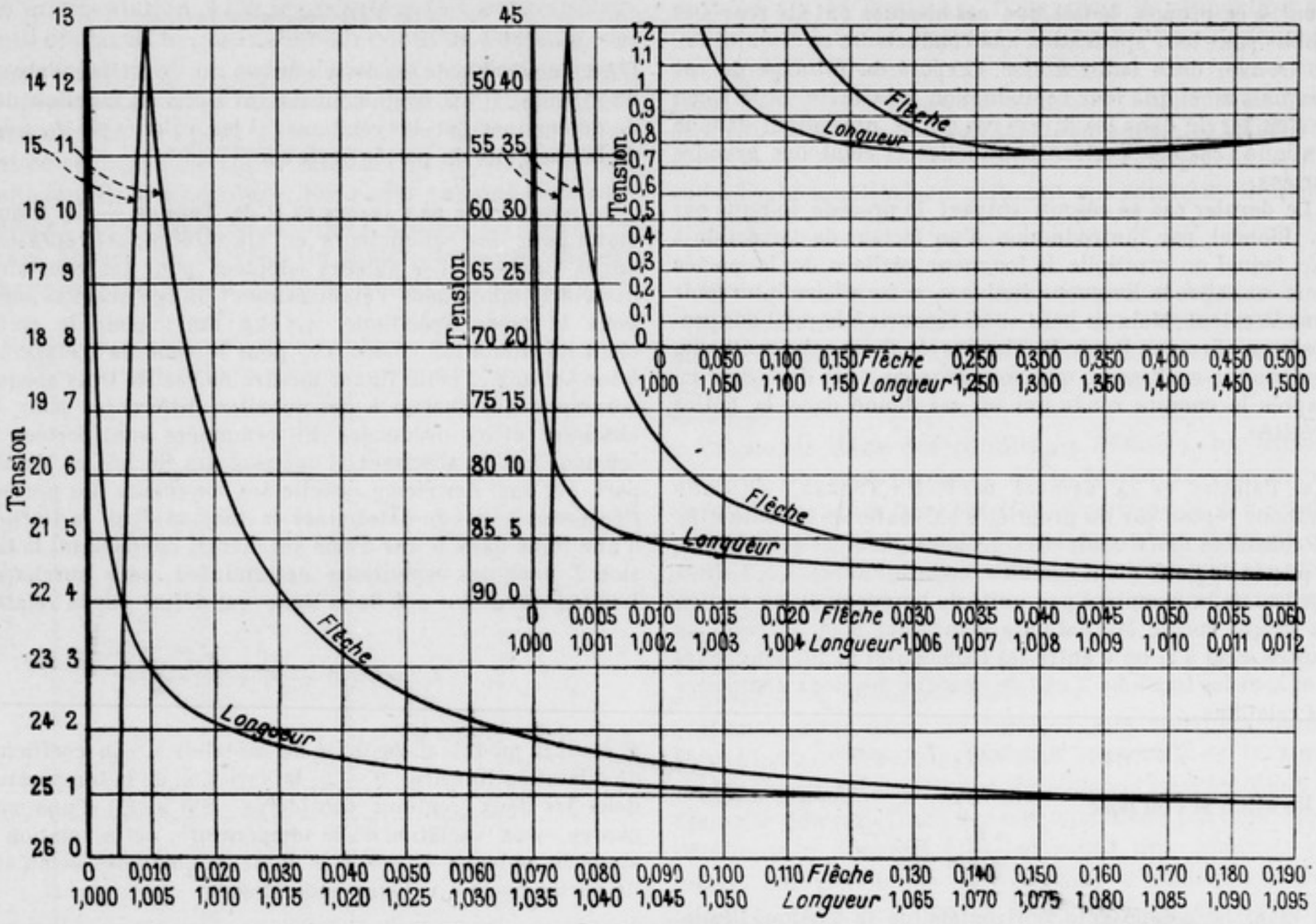


Fig. 1. — Abaque universel de Percy-H. Thomas pour la détermination des tensions et des flèches des conducteurs aériens en aluminium.

a, pour la chaînette correspondant à la portée a d'un fil de poids ϖ, par unité de longueur et de section

la flèche $f' = a\varphi'$,

la tension $T' = a\varpi t'$.

Si l'on tient compte de la variation de la température, il suffit de déplacer la droite aM′ parallèlement à elle-même d'une longueur comptée sur l'axe des abscisses égale à $\lambda\alpha(\theta' - \theta)$.

Enfin, si, au lieu de partir d'un régime de pose, on veut déterminer ce régime connaissant le régime en surcharge, le coefficient de surcharge étant m, les constructions sont les mêmes, mais m dans l'expression de tg γ' serait remplacé par $\frac{1}{m}$.

Remarque. — La remarque que nous reproduisons ici est textuellement extraite de la notice mentionnée plus haut; elle fait nettement ressortir la précision que l'on peut obtenir par l'application de cette méthode. « On a admis que l'allongement était proportionnel à l'effort de tension au point d'attache de la chaînette ; or, cet allongement varie théoriquement du point d'attache jusqu'au point le plus bas. On pourrait tenir compte de ce fait, en première approximation, en remplaçant T par une valeur intermédiaire entre T_0 et la tension au point d'attache, égale à $T_0 + \varpi f$. D'une façon générale d'ailleurs, il faut se rappeler que les calculs graphiques entraînent des erreurs plus élevées que les grandeurs négligées et même que l'incertitude sur les valeurs des constantes des métaux rend illusoire la prévision des formules théoriques rigoureuses. »

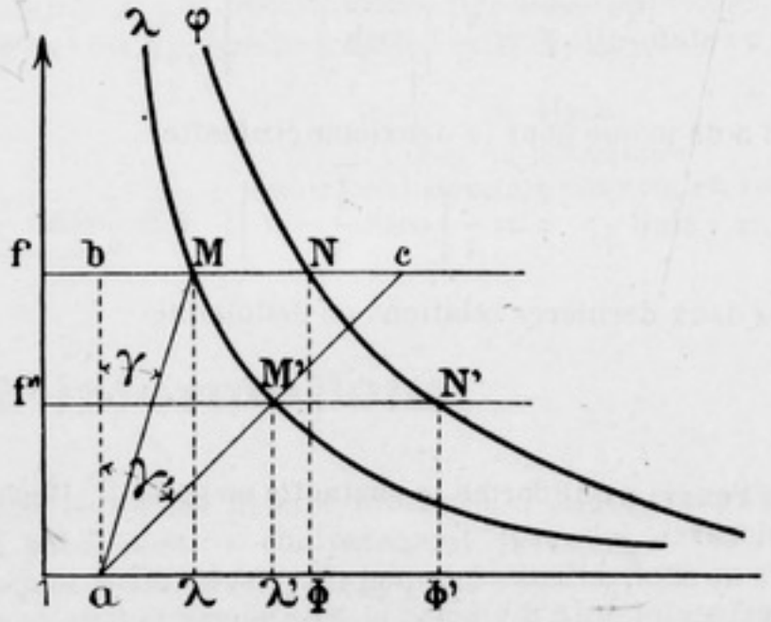


Fig. 2. — Construction graphique à effectuer sur l'abaque de P.-H. Thomas pour la détermination des tensions et des flèches des conducteurs aériens.

4. Conclusion. — La méthode décrétée ci-dessus nécessite en apparence plus de calculs que l'application des abaques de M. Blondel ; en réalité, la somme des nombres des opérations est sensiblement la même dans les deux cas, mais la répartition du travail entre celui qui établit l'abaque et celui qui s'en sert est inégale. Dans la méthode de M. Blondel, l'auteur de l'abaque accomplit lui-même le plus grand nombre des opérations dans le but de mettre à la disposition de celui qui s'en sert un outil de maniement simple et rapide. Avec le procédé de Percy-H. Thomas, la construction de l'abaque est plus rapide, mais il reste un certain nombre d'opérations qui doivent être effectuées lors de son emploi. C'est précisément parce que la construction de l'abaque est plus aisée dans ce dernier cas que cette méthode présente quelque intérêt dans le cas de conducteurs ayant des caractéristiques spéciales ; on l'appliquera aussi avec fruit dans le cas de grandes portées où la longueur réduite réelle λ diffère notablement de celle donnée par la théorie de M. Blondel. — A. C.

Obtention de trois mécanismes de rupture du verre par élimination de l'effet de bords (1).

La rupture d'un isolant ne se produit pas dans toutes les conditions pour une valeur fixe du champ auquel il est soumis et la théorie de la rupture des isolants sous l'effet du champ électrique n'est pas elle-même bien assise. Il avait déjà été prouvé par différents expérimentateurs qu'aux hautes températures, le mécanisme de rupture des isolants devenait plus complexe qu'aux températures normales où le potentiel de rupture est une constante. Les auteurs du présent travail ont donc cherché quelle pouvait être la loi liant le potentiel de rupture et la température et ont esquissé une théorie essayant de l'expliquer.

1. Dispositif expérimental. — La perturbation la plus importante, dans la mesure des potentiels de rupture, est due à l'effet de bords : la rupture tend toujours à se produire sur les bords des électrodes servant à appliquer le champ à l'isolant et en cet endroit la valeur du champ est indéterminée, ce qui rend les mesures impossibles ; de plus, les phénomènes dont il va être question sont totalement masqués. Pour éliminer l'effet de bords, les auteurs ont employé le dispositif de la figure 1 : l'éprouvette est un tube de verre soufflé à l'extrémité en une sphère de diamètre plus ou moins grand selon l'épaisseur de verre que l'on désire obtenir ; cette épaisseur était mesurée au micromètre après rupture. On peut aussi éliminer l'effet de bords dans le cas d'essais faits sur des plaques de verre en immergeant la plaque et les électrodes dans un liquide de résistivité convenable.

2. Résultats. — Si l'on trace la courbe donnant la valeur du potentiel de rupture d'un verre en fonction de la température (le verre seulement a été essayé par les auteurs qui n'ont pas encore pu généraliser ces résultats), en prenant comme coordonnées le logarithme du potentiel de rupture et l'inverse de la température absolue, on obtient en général une courbe analogue à celle de la figure 2 (trait plein); cette courbe n'est valable que pour une épaisseur donnée du verre, car l'on constate dans certains cas une variation de la valeur du potentiel de rupture avec l'épaisseur du diélectrique.

Trois mécanismes de rupture sont mis nettement en évidence : le potentiel de rupture est indépendant de la température pour de faibles valeurs de celle-ci (région I); c'est la rupture commune, mais dont l'origine est mal expliquée : Joffé suppose qu'elle est due à l'ionisation et relève d'un mécanisme analogue à celui de la décharge dans les gaz,

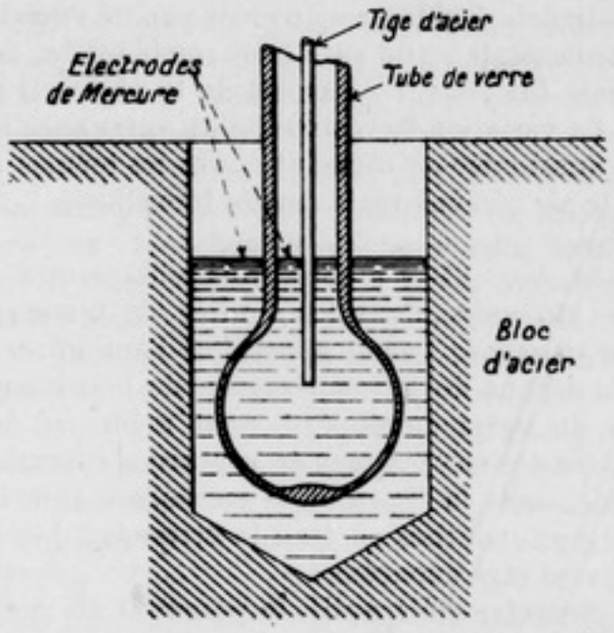


Fig 1. — Forme de la sphère de verre employée dans les essais de rupture.

alors que Rogowski pense qu'elle provient d'une rupture des molécules sous l'effet des forces électrostatiques.

Dans la région III, le potentiel de rupture décroît rapidement quand la température s'élève; c'est le mécanisme de rupture thermique qui a été étudié et expliqué depuis longtemps d'une façon assez satisfaisante, en particulier par Fock (1); cet auteur a donné des tables permettant de calculer la valeur du potentiel de rupture d'un diélectrique

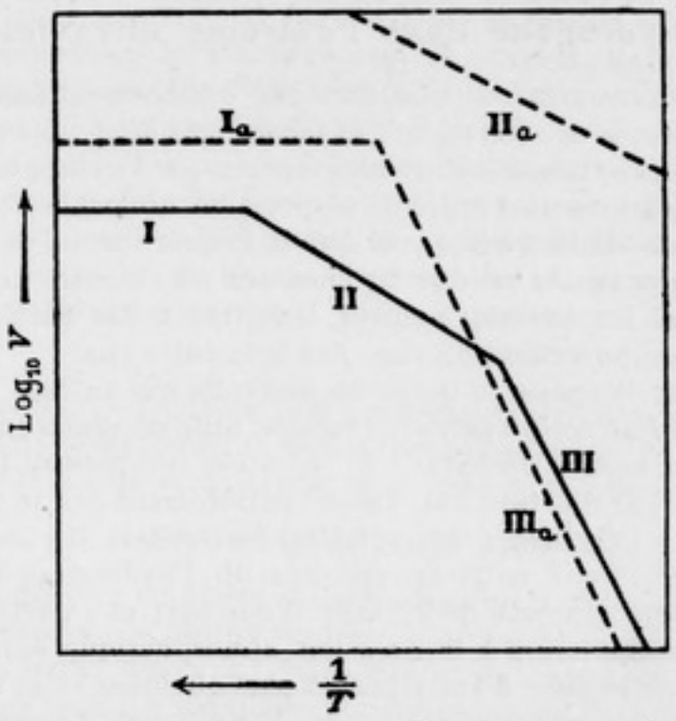


Fig. 2. — Courbes relatives aux trois mécanismes de rupture du verre : I, disruptive; II, intermédiaire; III, thermique

d'après la température, la conductivité thermique de l'isolant et des électrodes, et l'épaisseur de l'isolant.

Dans la région II, le potentiel de rupture décroît également quand la température s'élève, mais la théorie thermique ne suffit pas à expliquer ce phénomène et à plus forte raison la

(1) P.-H. Moon et A.-S. Norcross. *Journal of the Franklin Institute*, décembre 1929, t. ccviii, p. 705-729, 4000 mots, 13 figures.

(1) V. Fock. Zur Wärmethorie des elektrischen Durchschlages (Théorie thermique de la rupture des isolants). *Archiv für Elecktrotechnik*, 1927, t. xix, p. 71.

théorie disruptive simple ; il y a là un troisième mécanisme de rupture que les auteurs appellent, faute de mieux, mécanisme intermédiaire et qu'ils ont cherché à expliquer par différentes hypothèses dont aucune ne s'est révélée satisfaisante : ils ont d'abord vérifié que la polarisation électrolytique du verre n'avait aucune influence en employant des électrodes impolarisables constituées par de l'amalgame de sodium, de l'azotate ou du sulfate de soude fondu ; le résultat de ces essais fut négatif : l'aspect de la région II ne changeait pas. La variation de résistivité du verre avec la température fut aussi mise en cause et donna les mêmes résultats négatifs : le phénomène reste encore inexpliqué.

3. Conclusions. — Il y a donc trois mécanismes distincts de rupture du verre dans les limites de température et d'épaisseur usuelles ; lequel apparaîtra dans un cas déterminé? Cela dépend de la température, de l'épaisseur et des constantes du verre employé. Il peut même se faire que l'un ou l'autre des mécanismes de rupture n'apparaisse pas : par exemple, dans la figure 2, le mécanisme intermédiaire n'est pas atteint (courbes en trait interrompu). Les lois suivantes peuvent être énoncées :

Pour le mécanisme disruptif, le potentiel de rupture est indépendant de l'épaisseur, de la température et de la résistivité : c'est une constante du verre utilisé ;

Pour le mécanisme intermédiaire, le potentiel de rupture varie approximativement comme la puissance 2/3 de l'épaisseur et est une fonction exponentielle de l'inverse de la température ;

Pour le mécanisme thermique, le potentiel varie comme la puissance 1/2 de l'épaisseur et est également une fonction exponentielle de l'inverse de la température absolue. — F. F.

Le spectre d'arc et le spectre d'étincelle de l'hydrogène dans l'extrême ultraviolet (1).

1. Généralités. — Une méthode entièrement nouvelle a été créée pour déterminer la façon dont sont produites les raies de l'extrême ultraviolet, émises par l'hydrogène sous des pressions de l'ordre de la pression atmosphérique. Les résultats tendent à prouver que la majeure partie des radiations ionisantes est due au choc des ions contre les molécules ou les atomes neutres, une très faible partie de la radiation provenant du choc des ions entre eux.

Avant d'exposer la méthode nouvelle qui va être décrite au cours de cette analyse, il semble utile de remarquer que, dans un tube à décharges, la radiation qui produit l'ionisation du gaz du tube est émise entièrement par le gaz lui-même, à l'exclusion du métal des électrodes. Il y a en effet identité absolue entre les spectres de l'hydrogène obtenus au moyen d'un tube de Plücker, d'une part, et à partir d'une étincelle jaillissant à la pression atmosphérique entre électrodes de platine, d'autre part (à part quelques raies ultimes du platine dans ce dernier cas). Par ailleurs, aucune différence n'a pu être constatée entre les intensités des radiations émises par une étincelle entre électrodes de platine, ou entre électrodes d'étain, bien plus volatiles cependant, pour une même intensité du courant de décharge.

Bien qu'il ne s'agisse là que d'expériences négatives, il ne semble donc pas justifié de s'inquiéter, dans l'emploi des tubes utilisés au cours de cette étude, de la présence d'électrodes métalliques.

(1) John Thomson. *The philosophical Magazine*, décembre 1929, t. VIII (7e série), p. 977-992, 5 500 mots, 6 figures.

2. Principe et dispositifs expérimentaux. — Les expériences qui vont être décrites ont porté essentiellement sur la mesure de l'intensité du courant d'ionisation produit en un point d'un tube à décharges par la totalité de la radiation émise dans l'étincelle. Cette valeur, considérée comme une mesure de l'intensité de la radiation au point considéré, était ensuite comparée à celle du courant de décharge, en vue de rechercher la forme de la relation qui reliait la variation de ces deux grandeurs. La pression du gaz demeurait constante.

Il est de toute nécessité de n'opérer que sur un gaz très pur. L'hydrogène était, à cet effet, préparé électrolytiquement et desséché avec grand soin dans un appareil entièrement en verre. Deux seules causes d'erreurs pouvaient subsister : la présence d'oxygène dans le gaz et celle d'humidité dans le tube. Mais la présence d'oxygène était décelée par une persistance, d'ailleurs éphémère, du courant d'ionisation après la rupture de celui d'excitation, tandis que l'absorption graduelle de l'humidité du tube par le gaz sec se traduisait par une baisse graduelle de l'intensité du courant d'ionisation. On pouvait donc contrôler chaque fois l'état de pureté du gaz et se placer par suite dans les meilleures conditions possibles.

L'appareil utilisé comportait deux électrodes de platine écartées de 5 mm. Une troisième électrode en cuivre recouvert d'oxyde cuivrique était placée latéralement à quelques centimètres des précédentes et reliée à l'un des quadrants d'un électromètre de Dolezalek. Des écrans en tube métallique empêchaient les ions directement issus de l'étincelle, de frapper cette électrode qui servait ainsi uniquement à mesurer le courant d'ionisation. Le courant d'excitation, fourni par une bobine d'induction munie d'un interrupteur à jet de mercure, avait pour valeur moyenne 200 microampères, l'intensité du courant d'ionisation atteignant 10^{-12} A. La pression de l'hydrogène dans le tube variait entre des valeurs correspondant à des hauteurs de colonne de mercure comprises entre 75 et 30 cm.

3. Résultats des mesures. — Les courbes représentant la variation du courant d'ionisation en fonction du courant d'excitation ont une allure très peu incurvée et se rapprochent beaucoup de la forme d'une droite, surtout pour les plus faibles pressions utilisées (30 cm). Le faisceau qu'elles forment passe par un point situé sur l'axe des abscisses un peu à gauche de l'origine. Il semblerait donc que l'ionisation ne soit pas nulle quand le tube n'est pas excité, mais il n'en est rien et le fait s'explique ainsi : le microampèremètre utilisé étant un appareil polarisé, la valeur moyenne qu'il indique pour le courant d'excitation est la différence entre celle du courant de rupture de la bobine et celle beaucoup plus faible, mais non nulle, du courant inverse de fermeture. Au point de vue de l'ionisation produite, ces deux courants, non simultanés, s'ajoutent au contraire. Les valeurs du courant d'excitation données par le microampèremètre sont donc trop faibles et cela explique l'anomalie observée sur les courbes.

Ces dernières peuvent être traduites par la relation

$$I = k_1 i + k_2 i^2, \qquad (1)$$

où I est l'intensité de la radiation, i, celle du courant d'excitation, k_1 et k_2, des constantes. A la pression ordinaire, $\frac{k_1}{k_2} = 200$ et k_2 tend vers zéro lorsque la pression décroît, ce qui rend, comme on l'a remarqué plus haut, la relation linéaire.

4. Interprétation théorique des résultats. — a) *Cause de l'émission des radiations.* — La forme de la relation observée peut s'établir théoriquement. En effet, on peut admettre que l'émission de la radiation ionisante est produite soit par le choc d'un ion sur une particule neutre, atome ou plutôt molécule, soit par le choc mutuel de deux ions. Dans le premier cas, l'intensité de la radiation sera évidemment proportionnelle au nombre d'ions produits dans la décharge — le nombre des molécules étant infiniment plus grand — et par suite au courant d'excitation i. Dans le deuxième cas, elle est proportionnelle au carré de ce nombre, donc au carré de l'intensité du courant i^2. Si les deux causes agissent simultanément, on arrive à l'expression (1). Le fait que $\frac{k_1}{k_2} = 200$ montre, d'autre part, l'effet prépondérant du premier processus d'émission.

b) *Origine des diverses formes de la décharge.* — Il est assez difficile de distinguer dans une décharge la forme arc de la forme étincelle, car ces deux types sont généralement mélangés. Cependant, lorsque la pression diminue, on remarque une orientation nette vers la forme arc. L'allure quasi linéaire des courbes précédentes à basse pression, permet de supposer que la forme arc est liée à une ionisation par le système ion et molécule, la forme étincelle étant le signe d'une ionisation par les seuls ions.

Une vérification de cette hypothèse a été tentée en mesurant l'énergie émise par un tube à néon (dont la décharge présente à peu près uniquement la forme arc). Si on représente par une courbe la variation de cette énergie en fonction du courant de décharge, on trouve que cette courbe, rigoureusement linéaire pour de faibles valeurs du courant, s'incurve et tend vers une asymptote horizontale si ce courant croit. Au début, en effet, le courant étant faible, le nombre d'ions formés est petit par rapport à celui des molécules neutres et l'intensité de la radiation lui est proportionnelle. Le courant croissant, ce nombre croît aussi, si bien qu'à un certain moment il faut tenir compte du nombre des molécules neutres restantes. Si le nombre d'ions arrive à être très grand, l'intensité du rayonnement devient proportionnelle à ce nombre de molécules et tend par suite vers une limite, comme le montre la courbe tracée.

Il resterait, pour compléter cette étude, à montrer que la position du point où la courbe cesse d'être linéaire dépend de la pression du gaz et à vérifier la deuxième partie de l'hypothèse sur une source utilisant une décharge de la forme étincelle. Il serait, en outre, du plus haut intérêt de chercher à vérifier la théorie sur des sources monochromatiques et sur des raies spectrales. — A. A.

Conduction électrique d'une solution contenant un corps granulé en suspension stable (1).

1. Introduction. — La plupart des travaux qui se rapportent aux phénomènes d'électroosmose, d'électrophorèse, etc., dérivent de la théorie de la double couche électrique due à H. von Helmholtz. En ce qui concerne les solutions électrolytiques ordinaires, on a pu donner des formules. Mais lorsqu'il s'agit d'une solution électrolytique contenant des particules d'argile en suspension stable, le phénomène est plus complexe. Ceci est dû à ce que la force de la double couche est grande et la conductivité de la dispersion moyenne, faible. C'est en partant de cette différence que l'auteur a mis sur pied sa théorie. Il l'a vérifiée à l'aide de plusieurs expériences, en se plaçant dans le cas précité (particules d'argile en suspension stable).

2. Mécanisme de la conduction électrique dans une solution de grains d'argile en suspension stable. — Voici le phénomène qui se produit à la surface de l'électrode. Quand la micelle approche de l'électrode, les charges formant la couche extérieure de même signe que celles de l'électrode sont repoussées et renvoyées à la partie opposée de la particule. Le contact de la particule se produit sur la couche intérieure des charges de signe contraire. La décharge a lieu. Dans ce cas, les charges de la couche extérieure attirent celles de la couche intérieure, car la décharge n'est pas instantanée. Mais après que la décharge de la couche intérieure a eu lieu, le total élevé des charges de la couche extérieure correspondant aux premières est libre et est transporté au fur et à mesure sur l'autre électrode, du fait d'une force électrique et aussi de la diffusion provenant de la différence de concentration. Si l'on est dans les conditions déjà énoncées (grand nombre de charges libres et résistivité moyenne élevée), l'électrode en question est surchargée d'ions du même signe ; le gradient de potentiel est diminué par ses charges d'espace produites, car elles sont du même signe que l'électrode. Alors la couche extérieure de la particule qui approche de l'électrode est repoussée. La particule agit comme ferait un dipôle. La décharge de la couche intérieure de cette particule, c'est-à-dire sa charge d'espace augmente, faisant encore baisser le gradient de potentiel, et ainsi de suite.

Le courant dû à l'électrophorèse comprend deux composantes principales : l'une qui a pour cause les charges de la couche intérieure, l'autre, produite par les charges de la couche extérieure, c'est-à-dire la charge d'espace engendrée à la surface de l'électrode. On peut considérer comme constant l'effet de la première. La deuxième augmente avec le temps et prend part à l'établissement du courant. Mais il existe, en outre, une troisième composante due aux ions existant dans la solution. C'est surtout à cette troisième composante qu'est due l'augmentation de l'intensité de courant avec le temps. L'expérience montre que cette augmentation est plus grande qu'on ne le supposait. Ce fait constitue la preuve de la charge d'espace. Pour le courant alternatif, les choses se passent d'une façon tout à fait différente.

3. Expériences. — L'auteur prit pour ses expériences de l'argile poudreuse de Corée. Il réalisa un mélange de 30 g d'argile passée à travers un tamis, avec 100 g de solution de soude, à $\frac{1}{50}$ de la solution normale. Après avoir brassé le mélange pendant 5 à 6 heures et après l'avoir laissé déposer pendant 36 heures, on obtint un liquide qu'on fit évaporer lentement à 100°C. On avait alors constitué l'échantillon. Les électrodes plates et parallèles étaient en nickel et mesuraient 6 cm×6 cm. Une distance de 3 cm les séparait.

Afin d'étudier la répartition des potentiels, l'auteur se servit de la méthode de la sonde. Les fils souples utilisés comme sondes étaient couverts de cire sauf leurs extrémités. Il y avait deux méthodes à employer. La première était une méthode de zéro. Le montage réalisé était un pont de Wheatstone. Mais elle ne permettait pas de tracer rapidement la caractéristique et elle fut abandonnée par l'auteur qui lui préféra la méthode de déviation utilisant un millivoltmètre amplificateur. Le potentiel à mesurer est appliqué sur la grille. On s'aperçut que le gradient de

(1) Sakuji Komagata. *Researches of the electrotechnical Laboratory*, juillet 1929, n° 367, p. 1-20, 3 500 mots, 13 figures, 2 tableaux.

potentiel diminue avec le temps dans le voisinage de l'électrode positive. Aux environs de l'électrode négative, il se répartit comme pour les électrolytes ordinaires. Cela met en évidence les charges d'espace, qui ont le même signe que l'électrode.

Le courant total est mesuré par la méthode de l'ampèremètre et du voltmètre. On en déduit le courant qui traverse l'échantillon ; ce courant augmente rapidement avec le temps et double facilement sa valeur en 15 minutes. Cette augmentation est due à l'existence de la charge d'espace, qui se déplace, et à l'augmentation de la température. Si l'on considère que l'accroissement de température total est le même au voisinage de l'électrode positive et au milieu des deux électrodes, l'examen des courbes nous révèle que l'accroissement dû au courant est plus fort dans le voisinage de l'électrode négative. La différence entre les deux donne grossièrement le courant produit par le déplacement de la charge d'espace et l'on peut admettre que l'accroissement du courant avec le temps est accéléré par une force électrique et par la diffusion.

Après avoir appliqué une tension constante de 80 v, pendant 6 minutes, on ouvre le circuit et le millivoltmètre est inséré entre les deux sondes. Il dévie dans la plupart des cas en sens inverse du sens de déviation du courant de polarisation. La déviation augmente avec la distance des deux sondes et décroit exponentiellement avec le temps. Ceci démontre encore l'existence de la charge d'espace.

Les dépôts augmentent tout d'abord avec le temps, puis décroissent. On peut, vu le peu d'importance du phénomène, les considérer comme constants. C'est ce qui explique la constance dans la composante de courant relative aux charges dégagées.

Pour le courant alternatif l'accroissement de courant avec le temps est beaucoup plus faible,

4. Conclusions. — Le cas présent diffère essentiellement du cas de la solution électrolytique. La charge d'espace engendrée autour de l'électrode est importante. Le mécanisme par lequel l'auteur explique le phénomène a été vérifié par des séries d'expériences dont les principales étudiaient la diminution avec le temps du gradient de potentiel autour de l'électrode de signe contraire à celui des charges dispersées, le sens de la tension entre deux points en suspension opposé à celui du courant de polarisation, l'augmentation du courant avec le temps, augmentation plus grande que celle due uniquement à l'accroissement de température et enfin le courant alternatif. La théorie énoncée apparait donc entièrement justifiée et on peut la considérer comme une contribution très intéressante à l'étude de l'action du courant électrique sur les solutions. — M. L.

Le potentiel de polarisation diélectrique et la loi de superposition dans le cas du caoutchouc dur (1).

Lorsqu'une différence de potentiel invariable est appliquée aux deux faces d'une lame de diélectrique imparfait, le courant total qui traverse le diélectrique admet trois composantes i_c, i_g et i_p ; i_c, intensité du courant de charge du condensateur idéal équivalent ; i_g, intensité du courant de conduction ; i_p, intensité du courant de polarisation du diélectrique (il s'agit d'une polarisation à longue période).

Dans les essais que relatent les auteurs, on opérait de brusques changements de différence de potentiel appliquée et l'on mesurait en fonction du temps l'intensité du courant résultant de ces changements. Le courant i_c est très fugitif ; il devient presque instantanément nul et l'on n'a pas tenté de le mesurer. Le courant i_g s'est montré indépendant du temps et proportionnel à la différence de potentiel appliquée, au moins dans les limites des conditions expérimentales utilisées. Les mesures ont porté principalement sur le courant de polarisation i_p (appelé parfois courant d'absorption) d'une feuille de caoutchouc dur.

Un précédent travail effectué sur le même échantillon avait montré que

$$i_p = At^{-b},$$

où b est une constante, égale à 0,924 et A, un coefficient proportionnel à la différence de potentiel appliquée.

Si l'on applique à la feuille une différence de potentiel constante E_1, on obtient un courant d'intensité

$$i = At^{-b} + i_g = pE_1t^{-b} + gE_1,$$

p et g étant des constantes.

Si maintenant la différence de potentiel est brusquement supprimée et les deux électrodes, mises au sol, on aura un courant de décharge d'intensité

$$i' = -\,i_p = -\,pE_1t^{-b},$$

équation qui signifie que le courant de polarisation est réversible, ainsi qu'il a été démontré antérieurement pour la même substance.

Il est certain que, durant une charge prolongée, il s'établit dans le diélectrique un potentiel de polarisation E_p, opposé au potentiel appliqué. Si, dès lors, au lieu d'annuler le potentiel appliqué, on le réduit à une valeur $E_2 < E_1$, on aura un courant de sens négatif, pourvu que l'on ait $E_p > E_2$.

Pour obtenir la valeur de E_p, on fit donc une série d'essais, pour chacun desquels le potentiel de charge rapporté à 1 cm d'épaisseur du diélectrique était le même, soit $E_1 = 884$ v, tandis que le potentiel de décharge E_2 variait entre 829 et 882 v. Dans tous les essais, on obtint un courant de sens négatif durant un certain temps, succédant immédiatement à la réduction de potentiel. Il résulte de ces essais que E_p est certainement supérieur à $0{,}998\,E_1$. Ceci conduit à conclure que pour l'échantillon de caoutchouc étudié, le potentiel de polarisation édifié durant une charge de longue durée est à peu près égal et opposé au potentiel de charge.

Pour vérifier les résultats obtenus, les auteurs ont calculé des courbes basées sur la loi de superposition et comparé ces courbes avec celles fournies par l'expérience. La loi de superposition, due à J. Curie (1889), énonce que chaque différence de potentiel appliquée à une lame diélectrique agit comme si elle était seule. Autrement dit, les ordonnées de la courbe $i = f(t)$ sont obtenues par sommation des ordonnées des courbes qui correspondent à chaque force électromotrice appliquée, considérée isolément. Ils obtinrent ainsi un accord exact entre les données calculées et celles observées. — L. B.

(1) H.-H. Race et J.-R. Campbell. *The physical Review*, 1er octobre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1 031-1 034, 900 mots, 3 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions

Les auteurs se sont proposé d'étudier l'influence de la présence du radium à l'intérieur de l'une des électrodes d'un éclateur à sphères sur la régularité de son fonctionnement. Dans l'article qui suit sont exposés les résultats des mesures effectuées avec le même éclateur, d'abord sans ionisateur, puis avec lampe à arc nu et enfin avec 0,5 et 10 milligrammes de radium. Les comparaisons des résultats obtenus avec des tensions de fréquences industrielles montrent l'intérêt que peut présenter l'emploi du radium dans des mesures précises avec un éclateur; au moins aussi efficace que la lampe à arc nu, le radium dans les électrodes est particulièrement pratique pour les mesures à l'air libre. Les essais effectués en régime transitoire et commentés par les auteurs montrent qu'une minime quantité de radium donne, dans les conditions de l'expérience, aux éclateurs et aux parafoudres une régularité et une rapidité de fonctionnement exceptionnelles.

I. **Le mécanisme de la décharge entre électrodes d'un éclateur.** — Lorsqu'on applique une tension électrique aux bornes d'un éclateur à sphères, ou spintermètre, les quelques électrons et ions présents entre les électrodes sont entraînés par le champ. Si celui-ci est suffisamment intense, la vitesse atteinte le long de leur trajectoire libre par les particules électrisées leur permet, au premier choc avec une particule neutre, de briser celle-ci et d'isoler ainsi de nouveaux électrons, de nouveaux ions. Ceux-ci à leur tour, mus par le champ, ionisent par choc de nouveiles molécules neutres et le phénomène s'amplifie à l'instar d'une avalanche, jusqu'au moment où le flux d'électrons atteint les proportions d'un courant électrique, d'une étincelle, d'un arc. Tel est, dans ses grandes lignes, d'après Townsend, le processus de l'amorçage d'un éclateur.

Quoi que l'on puisse penser de la théorie complète de ce physicien, il paraît bien prouvé, et c'est le point essentiel à considérer ici, que l'avalanche électrique demande, pour se déclencher, quelques cailloux libres, quelques particules électrisées, présentes entre les sphères, particules auxquelles le champ imprimera une vitesse accélérée. Faute de ces quelques éléments électrisés, l'étincelle ne se produit pas. S'ils existent, mais en nombre insuffisant, ils peuvent être transportés par le champ jusqu'aux électrodes sans avoir déclenché l'avalanche. Pour provoquer celle-ci, on doit alors augmenter la tension aux bornes de l'éclateur de telle sorte que les électrons présents acquièrent avant de quitter le champ la vitesse nécessaire à l'ionisation par choc de particules neutres. De toute façon un manque d'électrons retarde l'éclatement.

Ainsi donc, en un milieu trop peu ionisé, l'éclateur à sphères demande pour s'amorcer une certaine surtension, essentiellement irrégulière, et qui a justifié, pendan longtemps, la mauvaise réputation dont jouissait cet appareil employé comme instrument de mesure. D'autre part, le retard à l'amorçage, tout aussi irrégulier et fortuit, ne permet pas de saisir, avec l'éclateur, des phénomènes de très courte durée tels que le passage d'ondes mobiles. On a d'ailleurs reproché, à juste titre, aux parafoudres et parasurtensions munis d'éclateurs de ne pas arrêter instantanément les ondes de surtension et de leur laisser atteindre les appareils qu'il s'agit de protéger avant de s'amorcer.

II. **Ionisation préalable de l'espace entre électrodes.** — Pour remédier à ces inconvénients il faut ioniser d'avance l'éclateur. Au laboratoire, on utilise à cet effet les rayons ultraviolets émis par une lampe à vapeur de mercure ou par un arc nu. On a aussi recours à des sels de radium. Ces derniers méritent une mention toute spéciale. Dans un article fort intéressant publié le 11 mai 1928 dans « Archiv für Electrotechnik », Rogowski compare l'action ionisante d'une lampe à vapeur de mercure à celle d'une préparation de radium et conclut en faveur de la lampe.

Nous sommes arrivés à une conclusion différente, non pas que les mesures de Rogowski soient inexactes, bien au contraire, mais parce que, au lieu de placer le radium à quelque distance de l'éclateur à sphères pour le protéger contre les décharges et pour éviter que son support ne déforme le champ, nous l'avons introduit à l'intérieur de l'une des sphères (fig. 1).

Les rayons émis par le radium traversent la paroi de la sphère et ionisent l'éclateur à l'endroit même d'où jaillira l'étincelle. Si l'on applique, très grossièrement, la loi du carré des distances, on voit qu'en amenant le radium à 2 mm de la surface d'une sphère au lieu de le placer à 10 ou 20 cm de l'éclateur, on multiplie son action ionisante par 2 000 ou plus. De fait, nous avons obtenu avec la faible quantité de 0,5 milligramme de radium élément une action entiè-

rement satisfaisante, remarquablement régulière et rapide, sur un éclateur à sphères de 50 mm.

La mise en œuvre du radium à l'intérieur de l'éclateur est si commode que nous avons cru utile d'étudier

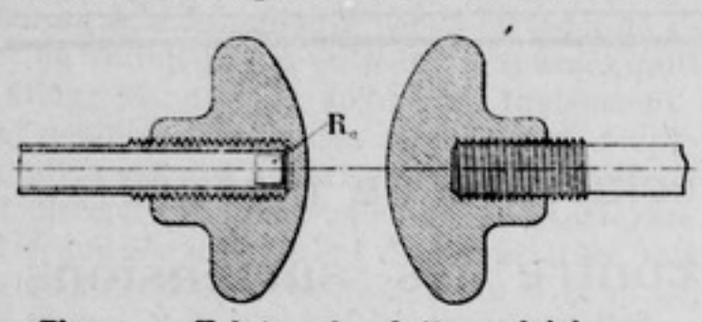


Fig. 1. — Eclateur à calottes sphériques.

de près son efficacité tant aux fréquences industrielles qu'en régime transitoire. Dans ce but, nous avons fait fabriquer une capsule spéciale contenant 0,5 milligramme de radium élément (1).

III. **Mesure des tensions aux fréquences industrielles.** — Le dispositif de mesure est représenté sur la figure 2. Le transformateur élévateur T est alimenté à la fréquence de 50 p : s par un alternateur à courbe pratiquement sinusoïdale. Le transformateur

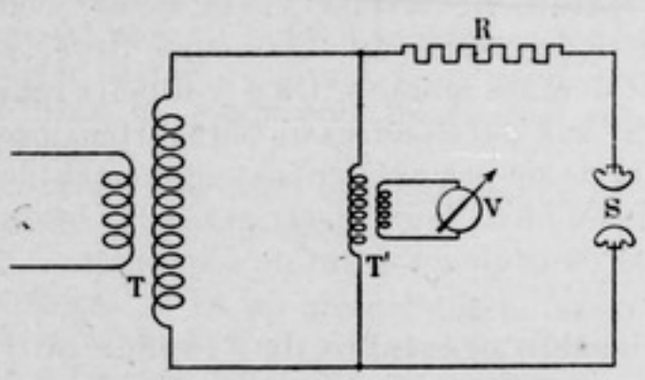


Fig. 2. — Schéma du dispositif d'étalonnage de l'éclateur à fréquence industrielle.

de potentiel T' et le voltmètre V permettent de mesurer la tension efficace. Le rapport exact entre la tension maximum et la tension efficace importe peu, toutes les mesures étant faites rigoureusement dans les mêmes conditions. La tension aux bornes de l'éclateur S n'est pas influencée par la résistance liquide de protection R.

L'éclateur est formé de calottes sphériques de 25 mm de rayon. L'une d'elles peut recevoir la capsule de radium. Les sphères sont soigneusement polies avant chaque essai. On opère dans une pièce obscure et l'on évite les déplacements d'air.

Des essais préliminaires effectués avec 0,5 milligramme de radium ont montré que, si l'on ventile fortement les sphères après chaque éclatement, on peut provoquer un relèvement de la tension de passage de l'ordre de 1 pour 100. Si, au contraire, on ne ventile pas de suite et si l'on produit des décharges toutes les 15 à 30 secondes, l'échauffement des calottes sphériques et de l'intervalle d'air peut réduire la tension d'amorçage de quelque 2 pour 100.

(1) Cette capsule a été fabriquée et mise gracieusement à notre disposition par la Société Le Radium belge, de Bruxelles.

En ne ventilant pas après chaque essai, mais en laissant s'écouler une durée de deux minutes entre deux étincelles successives, on obtient des résultats très réguliers; le refroidissement se produit dans de bonnes conditions et il semble bien que l'on puisse admettre comme température des sphères celle de l'air ambiant. Nous avons respecté ce rythme dans nos essais.

La distance entre les sphères a été, au cours des mesures, maintenue à 3 mm. Les tensions d'éclatement lues au voltmètre ont été ramenées à la température de 20° C et à la pression correspondant à une colonne de mercure de 760 mm, tous les essais n'ayant pas été effectués le même jour.

Chaque éclatement a été obtenu en faisant croître très lentement l'excitation de l'alternateur.

1. Mesures sans ionisateur. — Les résultats de douze mesures successives sont consignés dans le tableau I.

Tableau I. — *Résultats des mesures sans radium.*

N°	Lectures au voltmètre	Écart absolu
1	142	2,7
2	130,35	14,4
3	134,15	10,6
4	137,8	6,9
5	145,1	0,2
6	148,5	3,8
7	144,2	0,5
8	147,2	2,5
9	167,1	22,4
10	152,8	8,1
11	130,1	14,6
12	157,7	13,0
	144,7	99,7

La lecture moyenne est de 144,7 divisions, ce qui correspond à une tension efficace de 8680 v. L'écart maximum est de 22,4 divisions, soit 15,5 pour 100.

La loi de la fréquence des observations comprises dans les intervalles successifs de dix divisions est fonction de ces intervalles et représentée sur la figure 3. Elle affecte bien la forme connue de la courbe de Gauss, ce qui montre que les erreurs sont essentiellement accidentelles.

Si l'on représente par n le nombre d'observations et par S_1 la somme des écarts absolus, la précision de la mesure s'écrit

$$k = \frac{n}{S_1\sqrt{\pi}} = 0{,}07.$$

L'erreur à craindre

$$\frac{1}{k} = 13{,}5 \text{ divisions ou } 9{,}3 \text{ pour } 100.$$

a une probabilité de 17/20 de n'être pas dépassée en valeur absolue.

2. Mesures avec lampe a arc nu. — L'arc est placé à 24 cm de l'éclateur. Il en résulte un certain échauffe-

ment d'ailleurs irrégulier des sphères et de l'air environnant. Nous en avons tenu compte dans la mesure du

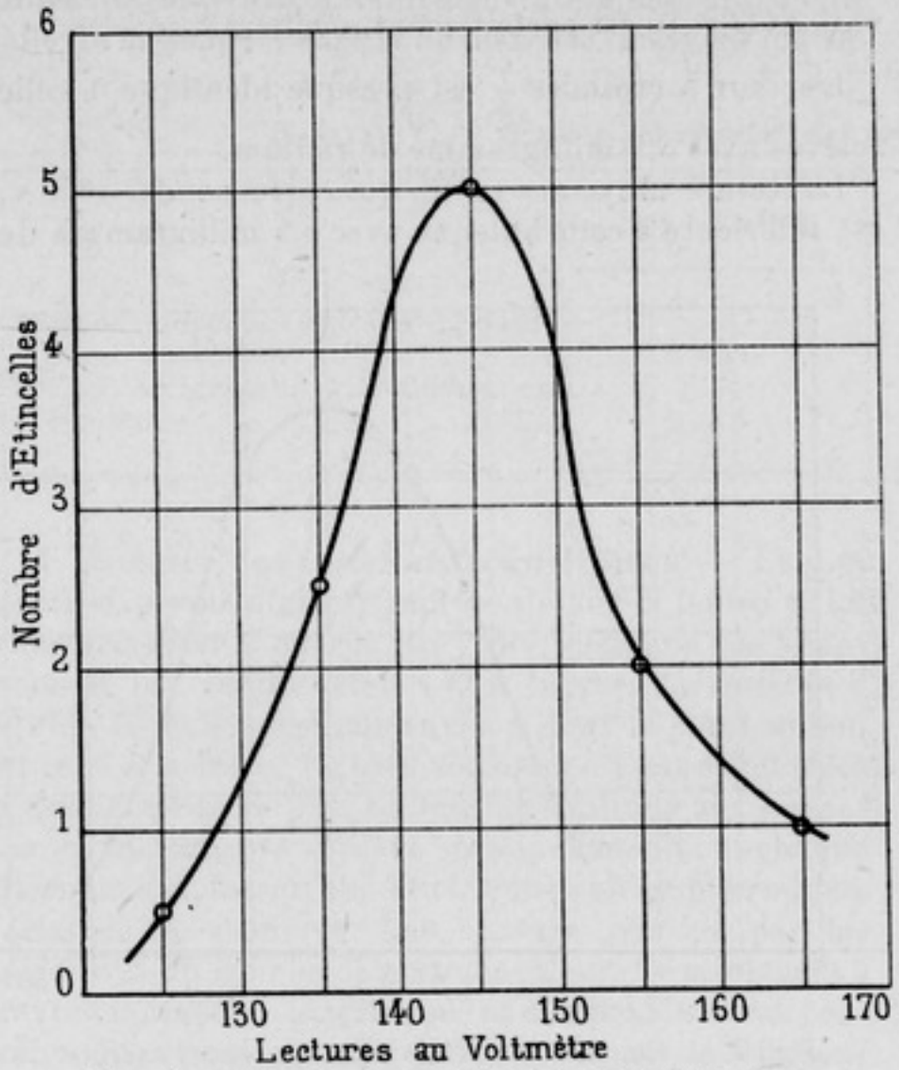


Fig. 3. — Courbe donnant la loi de la fréquence des observations pour l'éclateur non ionisé.

possible. Dans le tableau II sont consignés les résultats des mesures.

Tableau II. — *Résultats des mesures avec lampe à arc nu.*

N°	LECTURES AU VOLTMÈTRE	ÉCART ABSOLU
1	125	
2	130,15	0,6
3	130,15	0,6
4	129,8	0,95
5	130,9	0,15
6	130,8	0,05
7	130,9	0,15
8	131,65	0,10
9	131,1	0,65
10	131,1	0,65
	130,75	3,9

Nous avons écarté la première mesure qui diffère fortement de toutes les autres et semble avoir été provoquée par une poussière que la première étincelle a éliminée.

La figure 4 représente la courbe de la fréquence des observations Elle est régulière et analogue à la courbe de la figure 3, mais l'échelle des abscisses est beaucoup plus resserrée. La valeur moyenne 130,75 correspond à 7845 v, soit 9,61 pour 100 de moins que sans ionisateur.

La précision k vaut 1,035; l'erreur à craindre, $\frac{1}{k}$, se réduit à 0,968 division, ou 0,75 pour 100 contre 9,3 pour 100 dans l'expérience précédente.

3. Mesures avec 0,5 milligramme de radium. — Le radium est placé dansl'une des sphères ; la température

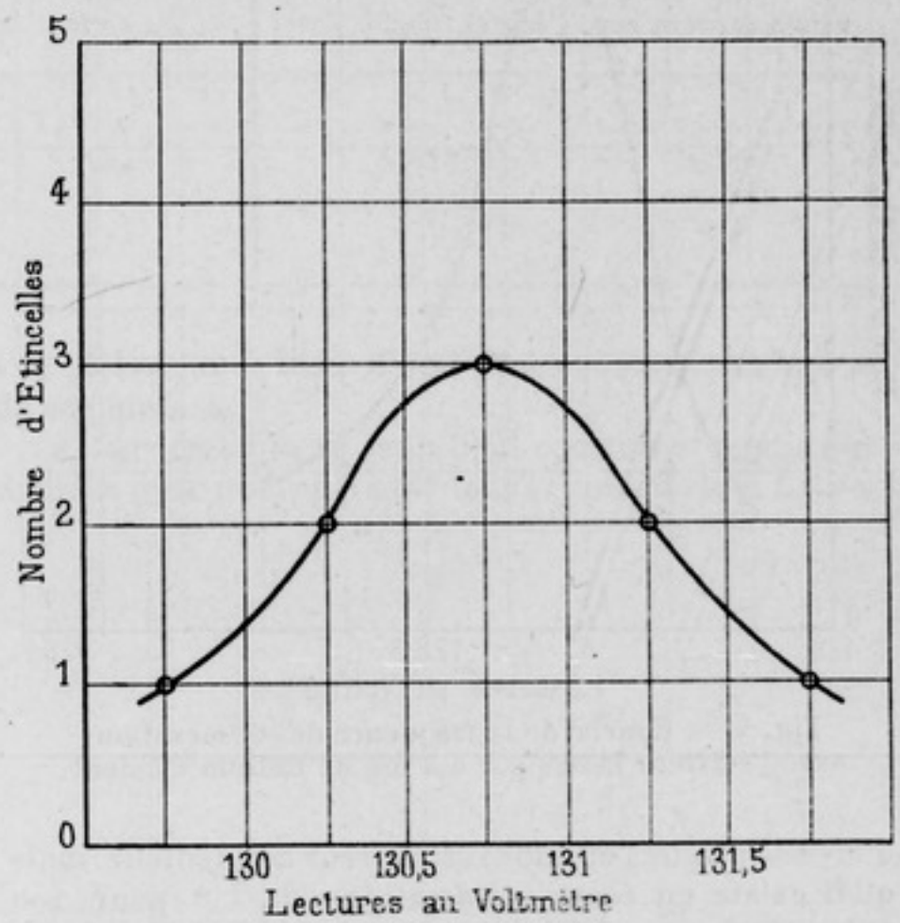


Fig. 4. — Courbe de la fréquence des observations pour l'éclateur ionisé par une lampe à arc nu.

peut être mesurée avec précision, ce qui constitue un avantage sérieux. Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau III.

Tarleau III. — *Résultats des mesures avec* 0,5 *milligramme de radium.*

N°	MESURES AU VOLTMÈTRE	ÉCART ABSOLU
1	128,3	0,1 —
2	128,5	0,1 +
3	128,6	0,2
4	128,7	0,3
5	128,3	0,1
6	128,3	0,1
7	128,5	0,1
8	128,1	0,3
9	128,2	0,2
10	128,3	0,1
	128,38	1,6

La figure 5 représente la courbe de la fréquence des observations. L'échelle des abscisses est encore plus resserrée que pour l'essai précédent. La lecture moyenne 128,38 correspond à 7688 v soit 1,8 pour 100 de moins qu'avec la lampe à arc.

La précision k atteint 3,52 ; l'erreur à craindre tombe à 0,28 division, soit 0,2 pour 100. Il y a lieu de noter

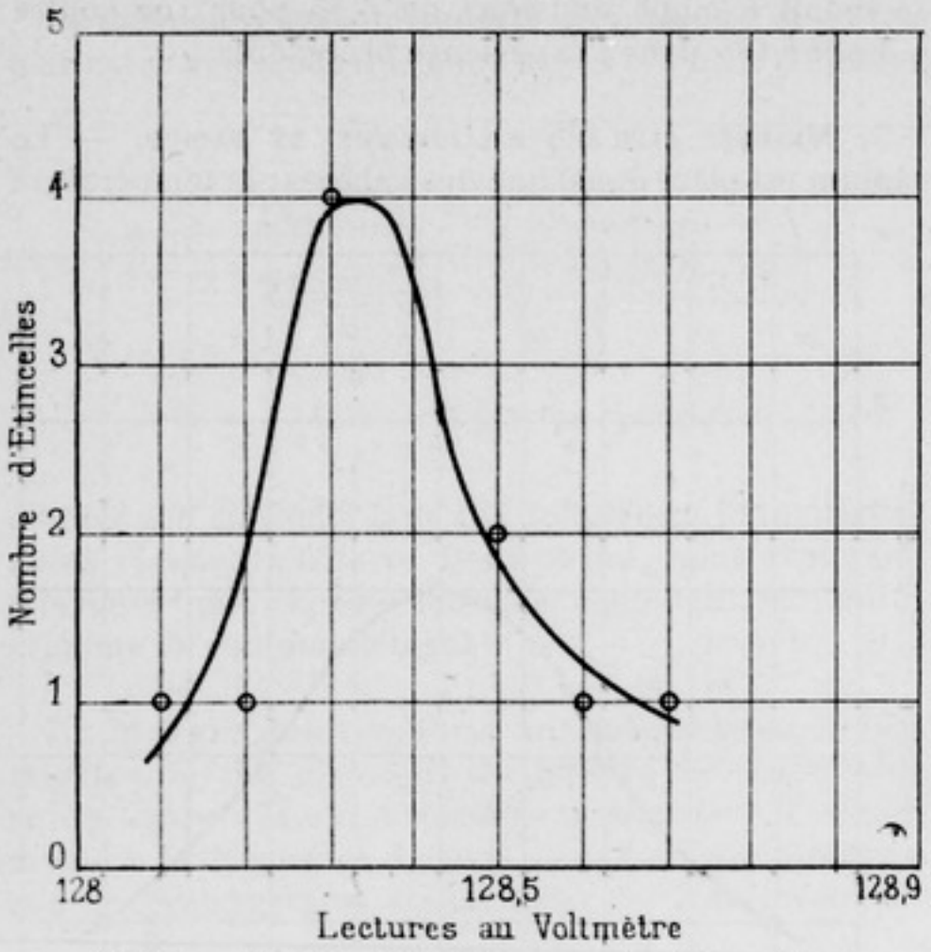


Fig. 5. — Courbe de la fréquence des observations avec l'éclateur ionisé par 0,5 mg de radium élément.

que cette erreur à craindre est l'erreur accidentelle, mais qu'il existe un écart systématique de 1,8 pour 100 entre les mesures avec arc et celles avec radium. On doit se demander si le radium n'ionise pas trop fortement l'éclateur et n'abaisse pas de ce chef la tension d'éclatement en dessous de ce que l'on pourrait appeler la tension idéale. Pour contrôler ce fait, nous avons introduit une ampoule de 10 mg de radium dans l'une des sphères et comparé les résultats obtenus de la sorte avec ceux qui précèdent.

4. Mesures avec 10 milligrammes de radium. — Sur le tableau IV sont consignés les résultats de ces mesures.

Tableau IV. — *Résultats des mesures avec 10 milligrammes de radium.*

N°	Lectures au voltmètre	Écart absolu
1	126,8	
2	127,8	0,2
3	127,8	0,2
4	127,4	0,2
5	127,5	0,1
6	127,6	0,1
7	127,7	0,1
8	127,5	0,1
9	127,7	0,1
10	127,4	0,2
11	127,7	0,1
	127,6	1,4

Nous avons éliminé la première observation pour les mêmes motifs que dans le cas des mesures consignées sur le tableau II. La courbe de la fréquence des observations (fig. 6) est parfaitement régulière.

L'erreur à craindre $\frac{1}{k}$ est presque identique à celle relevée avec 0,5 milligramme de radium.

La lecture moyenne 127,6, qui correspond à 7660 v, est inférieure à celle obtenue avec 0,5 milligramme de

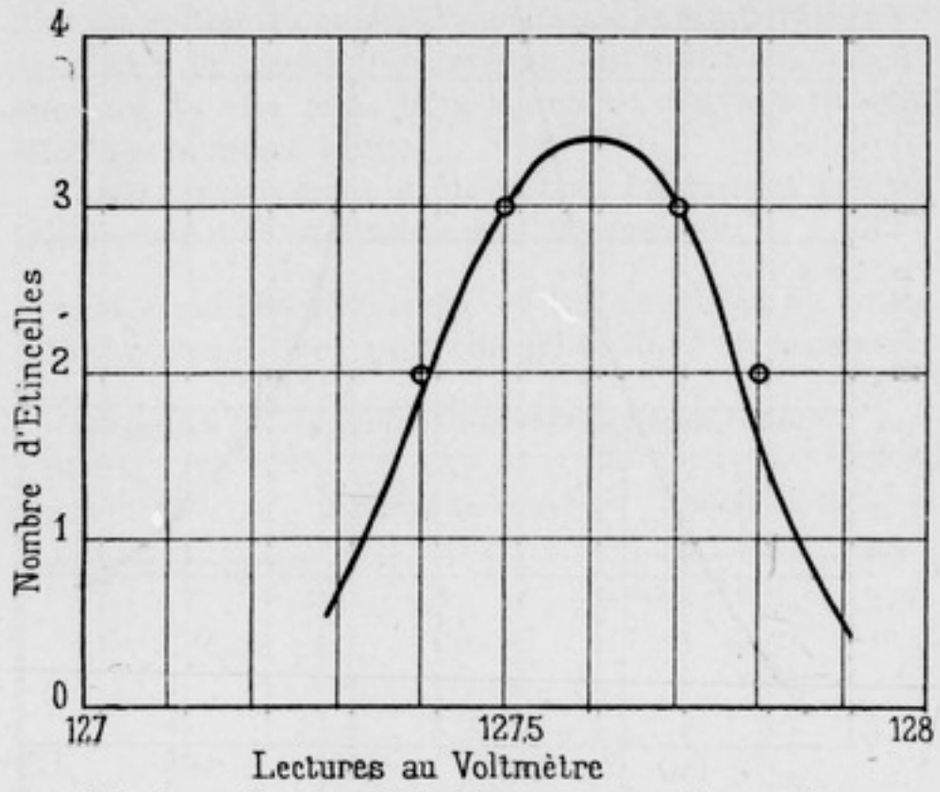


Fig. 6. — Courbe de la fréquence des observations avec l'éclateur ionisé par 10 mg de radium élément.

radium ; mais, bien que la quantité de radium mise en œuvre soit 20 fois plus forte, l'écart n'est que de 0,36 pour 100.

5. Conclusion. — Une capsule contenant 0,5 milligramme de radium ionise suffisamment l'éclateur pour fournir des résultats tout à fait réguliers, l'erreur accidentelle à craindre étant de 0,2 pour 100. D'autre part, si l'ionisation est exagérée, l'erreur systématique qui en

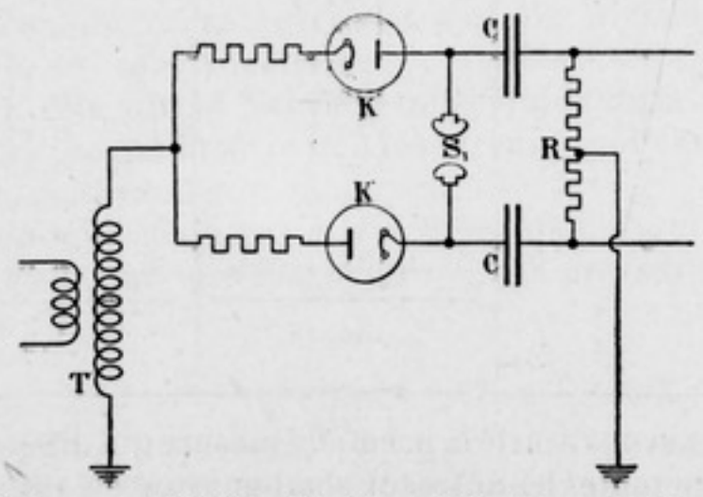


Fig. 7. — Schéma du dispositif de production d'ondes mobiles.

résulte semble devoir être inférieure à l'erreur accidentelle puisqu'une quantité de radium 20 fois plus forte n'abaisse la tension d'éclatement que de 0,36 pour 100.

L'éclateur à radium, convenablement manipulé, peut

être considéré comme un appareil précis. A ce point de vue, le radium n'est pas très supérieur à l'arc nu et son efficacité est vraisemblablement du même ordre que celle de la lampe à vapeur de mercure, mais cet ionisateur est, de loin, le plus commode à mettre en œuvre et le seul pratique pour les mesures à l'air libre.

Nous résumons dans le tableau V les résultats des essais qui précèdent.

TABLEAU V. — *Résumé des résultats des mesures consignées dans les tableaux I à IV.*

	SANS IONISATEUR	AVEC LAMPE A ARC NU	AVEC 0,5 MG DE RADIUM	AVEC 10 MG DE RADIUM
Tension moyenne efficace d'éclatement, en volts.....	8 680	7 845	7 688	7 660
Erreur accidentelle à craindre, en centièmes.....	9,3	0,75	0,2	0,2

IV. **Mesure des tensions transitoires.** — Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 7. Le transformateur T charge par l'intermédiaire des kénotrons K les condensateurs C à travers la résistance liquide R de 3 mégohms environ dont le point milieu est relié à la terre. Le transformateur T est alimenté à la fréquence de 50 p:s. La tension continue aux bornes des condensateurs s'élève graduellement à chaque alternance et, lorsqu'elle atteint une valeur déterminée, l'éclateur S_1 s'amorce. Les charges portées par les armatures de gauche des condensateurs se rejoignent à travers l'étincelle, tandis que les charges de noms contraires pénètrent dans la ligne de 250 m de longueur sous la forme d'une onde mobile.

Pour étudier la fidélité et la rapidité de fonctionnement de l'éclateur, nous avons mis en court-circuit la ligne en son extrémité F et disposé l'éclateur S_2 à 6,70 m de celle-ci (fig. 8).

Considérons une onde mobile lancée dans la ligne. Elle passe devant l'éclateur S_2, atteint F où sa tension

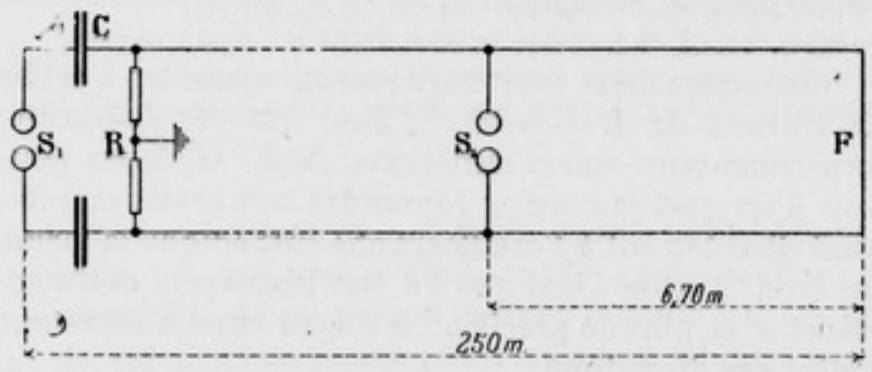


Fig. 8. — Mesure d'une tension transitoire. Eclateur à 6,70 m de l'extrémité d'une ligne en court-circuit.

tombe à zéro et le phénomène de décharge remonte dans la ligne sous la forme d'une onde réfléchie.

Si l'onde primitive est rectangulaire, c'est-à-dire si son front est vertical, la tension en S_2 atteint instantanément sa valeur maximum et se maintient à ce niveau pendant le temps que met l'onde à parcourir deux fois la distance de 6,70 m, soit pendant 45 milliardièmes de seconde environ. Si au contraire le front d'onde est triangulaire (fig. 9), la tension au droit de l'éclateur S_2 croît progressivement de zéro jusqu'à la valeur E_1 que l'on relève sur le front d'onde à $2 \times 6{,}70$ m $= 13{,}40$ m de sa pointe A.

La tension en S_2 se maintient constante, tandis que défile le reste du front (soit, dans l'exemple de la figure,

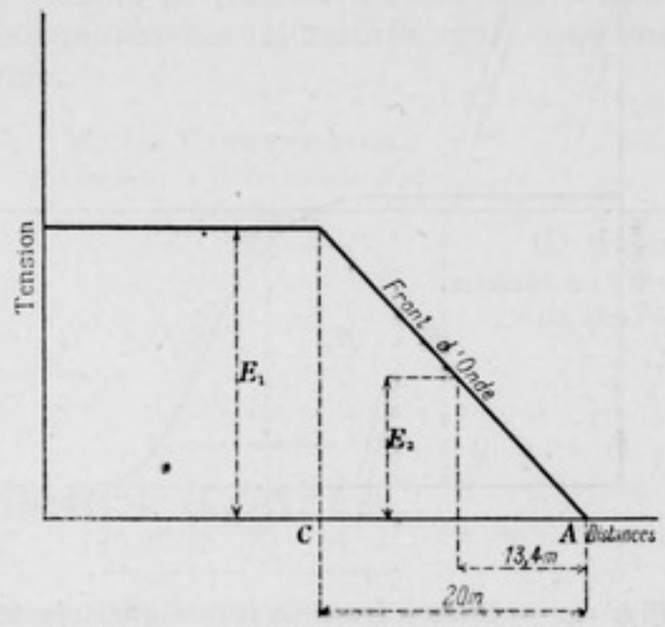


Fig. 9. — Onde à front triangulaire.

$20 - 13{,}40 = 6{,}60$ m, c'est-à-dire pendant 22 milliardièmes de seconde), après quoi la tension tombe progressivement à zéro.

Ainsi donc, pour un front d'onde triangulaire, la tension à l'éclateur n'atteint pas la pleine tension à l'origine et le temps d'application de la tension maximum peut être extrêmement court. Pour d'autres formes du front d'onde, la loi de la tension en S_2 est différente; mais, de toute façon, la tension maximum à l'éclateur est la différence maximum des ordonnées que l'on peut relever sur le front d'onde (fig. 10) entre deux points distants de 13,40 m.

Nous pouvons à présent analyser les résultats de nos essais. Ceux-ci ont tous été faits en observant les éclatements en S_2, réglé à 3 mm, pour des distances explosives croissantes en S_1. Notons tout d'abord que, pour une distance explosive donnée en S_1, les décharges en S_2 ne sont pas toujours régulières; il se produit des ratés.

Aussi avons-nous, à chaque réglage de S_1, compté le nombre d'éclatements en S_2 pour 20 décharges en S_1;

ces nombres ont été portés dans le graphique de la figure 11 en fonction de la distance explosive en S_1.

La ligne brisée ABC a été obtenue au moyen de l'éclateur ionisé par 1 milligramme de radium (1).

Les décharges en S_2 commencent pour un écartement de 4,5 mm en S_1 ; elles sont absolument régulières pour 5,1 mm. Il ne nous est pas possible de dire si l'irrégularité des décharges en S_2 entre les points A et B du graphique est due à une certaine variation dans la forme de l'onde provoquée par une oscillation parasite des circuits producteurs ou si elle doit être attribuée exclusivement à l'éclateur lui-même. D'autre part, ainsi que nous venons de le montrer, il faudrait également connaître la forme exacte du front d'onde pour dire quelle est la valeur réelle de la tension maximum E_2 (fig. 10) appliquée à S_2 lorsque la distance en S_1 est de 5,1 mm.

Ignorant la sollicitation exacte de l'éclateur, nous ferons les hypothèses les plus défavorables : nous sup-

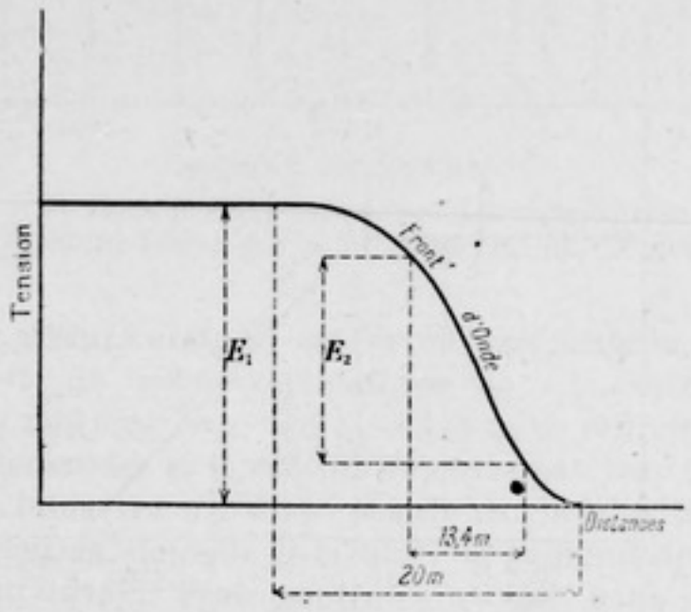


Fig. 10. — Onde à front de forme quelconque.

poserons que l'onde est rectangulaire (ce qui n'est certainement pas le cas) et nous dirons que la pleine tension en S_1 est appliquée à S_2 pendant 45 milliardièmes de seconde. Comme S_2 est réglé à 3 mm, la tension pour 4,5 mm d'écartement représente une surtension de 41 pour 100 par rapport à la tension statique d'amorçage en S_2. Pour 5,1 mm en S_1, la surtension est de 57 pour 100. Il est donc certain que l'éclateur à radium fonctionne régulièrement sous une surtension inférieure à 57 pour 100.

Le graphique A'B'C' (fig. 11) nous montre que, dans la même hypothèse d'onde rectangulaire, l'éclateur ionisé par une lampe à arc nu demanderait 43 pour 100 de surtension pour s'amorcer de loin en loin (point A') et 71 pour 100 de surtension pour s'amorcer régulièrement (point B').

Enfin, si l'on supprime toute ionisation artificielle

(1) Nous ne possédions pas à l'époque de ces essais la capsule de 0,5 mg. Des essais ultérieurs ont montré que cette dernière aurait donné des résultats presque identiques. La forme de l'ampoule de 1 mg était d'ailleurs moins favorable à une bonne ionisation que celle de 0,5 mg.

(graphique A" B"), une surtension de 235 pour 100 donne encore lieu à 50 pour 100 de ratés.

On pourrait nous faire remarquer que, pour donner plus de précision à notre analyse, nous aurions dû

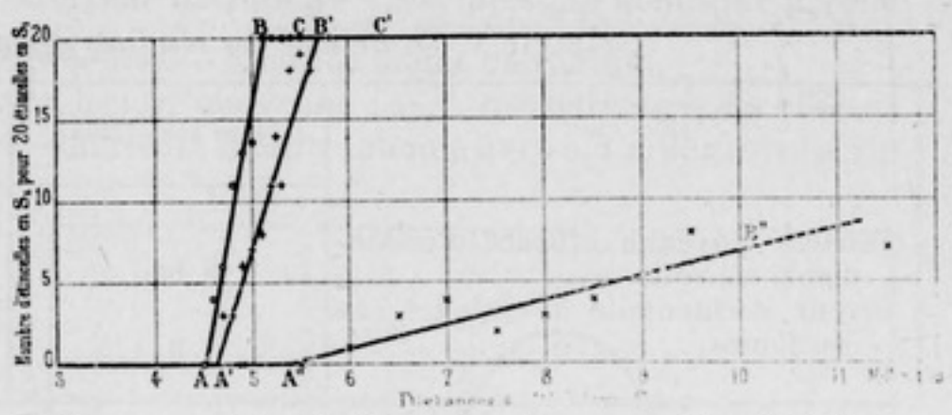


Fig. 11. — Régularité de fonctionnement de l'éclateur soumis à une tension transitoire.

relever la forme du front d'onde par la méthode de la boucle imaginée par Binder (1) et mesurer exactement la tension maximum E_2 qui peut exister entre deux points distants de 13,40 m (fig. 12).

Nous avons effectué cette mesure et il a semblé en résulter que l'éclateur à radium n'avait aucun retard et qu'aucune surtension n'était nécessaire pour le faire fonctionner. En réalité, la mesure du front d'onde

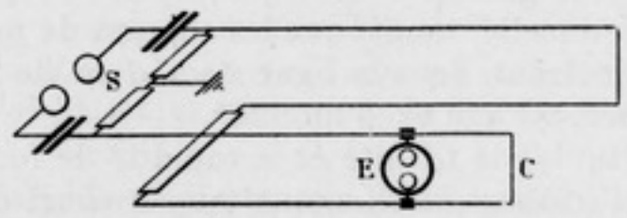


Fig. 12.—Mesure du front d'onde par la méthode de la boucle.

par la méthode de la boucle s'effectue au moyen d'un éclateur ionisé et le contrôle effectué par nous de la sorte prouve seulement que, si notre éclateur a du retard, celui-ci a été le même dans les deux essais.

Nos conclusions sont d'ailleurs comparables à celles de travaux de Rogowski (2) bien que les dispositifs expérimentaux soient différents. Nous espérons pouvoir d'ici quelque temps reprendre nos essais en relevant directement à l'oscillographe cathodique la forme du front d'onde ainsi que l'a fait Rogowski et déterminer avec plus de précision le retard exact à l'éclateur ionisé par du radium.

Notons dès à présent que nos mesures du front d'onde par la méthode de la boucle ont prouvé que l'éclateur à radium s'amorce sans surtension appréciable en un temps certainement inférieur à 200 milliardièmes de seconde.

V. **Le radium dans les appareils de protection contre les surtensions.** — Relatons ici une seule expérience.

(1) L. Binder. *Die Wanderwellenvorgänge auf experimenteller Grundlage.*

(2) *Arbeiten 'aus dem elektrotechnischen Institut der Hochschule Aachen*, 1928, ft. III.

Dans le dispositif expérimental précédent (fig. 7 et 8) nous remplaçons la connexion de court-circuit F, par un éclateur S_3 (fig. 13) et l'éclateur S_2 par un parafoudre à cornes C_2 dans une des branches duquel on

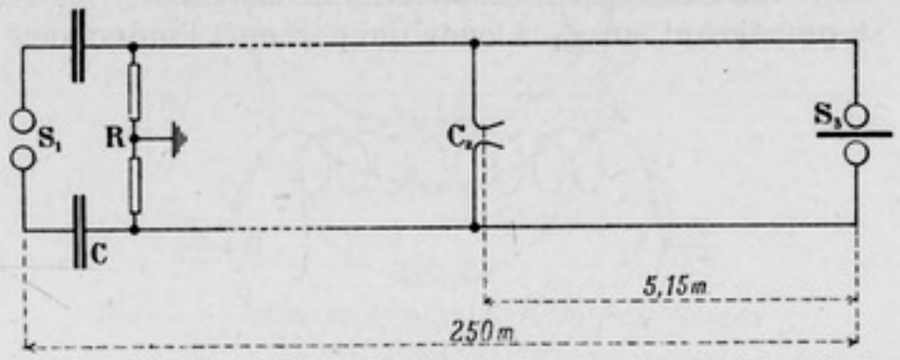


Fig. 13. — Protection d'un isolant par un parafoudre ionisé.

peut introduire la capsule de 0,5 milligramme de radium. Entre les sphères de l'éclateur S_3 on place une feuille de carton isolant.

Lorsqu'une onde mobile *E* à front incliné AB (fig. 14) arrive en C_2 et que le parafoudre s'amorce au moment où la tension atteint la valeur représentée par m n, la petite onde triangulaire A m n se détache, continue sa route et peut provoquer le passage d'une étincelle en S_3. Or, les distances explosives étant convenablement réglées, on remarque ceci :

1° Lorsque la capsule de radium est introduite dans le parafoudre, l'amorçage se fait régulièrement en C_2 ; en même temps une petite étincelle de capacité jaillit en S_3 sans parvenir à percer le carton, l'énergie contenue dans l'onde A m n étant apparemment insuffisante ;

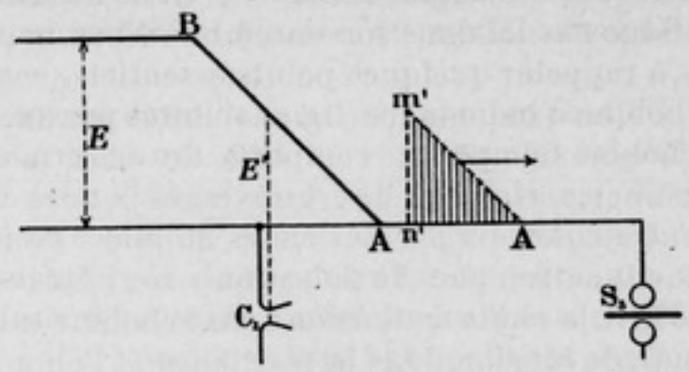


Fig. 14. — Pointe d'onde détachée après fonctionnement du parafoudre C_2 sous une tension *E'*.

2° Lorsqu'on supprime le radium, il se produit 8 fois sur 10 des ratés en C_2. A chacun d'eux une décharge bruyante perce le carton en S_3.

Cette expérience caractéristique de l'action du radium confirme, pour le surplus, le fait connu que pour vaincre la rigidité d'un isolant il faut non seulement une tension déterminée, mais aussi une certaine énergie.

R. van Cauwenberghe,
Professeur à l'Université libre de Bruxelles.

G. Marchal,
Assistant à l'Université libre de Bruxelles.

A propos des absorbeurs d'ondes

Se référant aux rapports présentés à la dernière session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (*) sur certains dispositifs de protection contre les surtensions, M. Ch. Ledoux rappelle, dans la note qui suit, son importante étude publiée dans ces colonnes (**) sur les ondes mobiles, et en particulier sur les moyens de protection. Il montre que les divers points examinés dans les rapports précités sont envisagés dans son travail et que les dispositifs proposés présentent de grandes analogies avec ceux qu'il a réalisés et décrits ici même.

I. **Introduction.** — Nous avons publié, dans ces colonnes, une longue étude sur les ondes mobiles et les dispositifs de protection correspondants (1). Les points de vue peu classiques que nous avons adoptés nous ont amenés à des conclusions différant sensiblement des idées communes sur les dispositifs de protection en général et les absorbeurs d'ondes en particulier.

Au cours de la dernière Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension, à laquelle nous n'avons malheureusement pas pu assister, il a été présenté sur ce sujet plusieurs rapports dont la « Revue générale de l'Electricité » a publié des extraits (1). C'est à propos de ces rapports que nous désirons formuler quelques remarques afin de remettre les choses au point quant à la priorité et au fonctionnement de certains dispositifs.

II. **Inductances de protection et absorbeurs d'ondes dérivés.** — Nous avons exposé cette question

(*) L. Grant ; Protection contre la foudre et les surtensions dans les réseaux électriques. *Revue générale de l'Electricité*, 28 septembre 1929, t. XXVI, p. 475-476.

S. Teszner et L. Barbillion ; Le rôle des condensateurs et des dispositifs dérivés dans la protection des réseaux électriques contre les surtensions. *Revue générale de l'Electricité*, 5 octobre 1929, t. XXVI, p. 515-516.

A. Tchernycheff et V. Glazanof ; Dispositif de protection contre les surtensions. *Revue générale de l'Electricité*, 12 octobre 1929, t. XXVI, p. 555-557.

(**) Ch. Ledoux ; Ondes mobiles : propagation, formation, protection. *Revue générale de l'Electricité*, 19 et 26 novembre, 3, 10, 17 et 24 décembre 1927, t. XXII, p. 815-826, 865-871, 923-942, 983-1000, 1045-1062 et 1119-1128.

(1) Ch. Ledoux. *Loc. cit.*

(1) L. Grant ; S. Teszner et L. Barbillion ; A. Tchernycheff et V. Glazanof. *Loc cit.*

de manière assez complète dans notre étude déjà citée sur les ondes mobiles et nous l'avons développée à nouveau dans une étude plus récente (1). Nous ne la reprendrons donc pas ici dans son ensemble. Nous nous bornerons à rappeler quelques points essentiels.

Une bobine d'inductance (fig. 1), shuntée par une résistance (bobine Campos) se comporte de deux manières bien distinctes selon qu'elle est traversée par des oscillations entretenues ou par des ondes mobiles. Pour des oscillations entretenues de pulsation $\omega = 2\pi f$ traversant le dispositif, la chute de tension dans la bobine est égale à la chute de tension dans la résistance et l'on a

$$L\omega I_L = RI_R \qquad \text{ou} \qquad \frac{L\omega}{R} = \frac{I_R}{I_L},$$

d'où l'on tire, pour la puissance consommée dans la résistance

$$W = RI_R^2 = RI^2 \frac{L^2\omega^2}{L^2\omega^2 + R^2},$$

Cette expression est maximum pour $R = L\omega$; on a alors

$$W_m = \frac{1}{2} RI^2.$$

La valeur de W ne diminue qu'assez lentement lorsque l'on s'éloigne de cette condition optimum.

Pour les ondes mobiles, deux hypothèses peuvent être envisagées :

1° L'inductance et la résistance sont supposées concentrées en un point et l'onde mobile est supposée rectangulaire. C'est la théorie classique bien connue dont l'unique mérite est d'avoir réussi à subordonner la réalité des faits à des hypothèses permettant de savants calculs. Nous n'insisterons pas sur ce point, car on ne peut valablement assimiler à un point une bobine comportant parfois plus de 50 m de conducteur sur lequel la vitesse de propagation est de l'ordre de 100 000 km : s, d'autant plus que l'on considère ensuite la longueur de la bobine comme négligeable par rapport à la longueur d'un front d'onde supposé lui-même vertical! autrement dit, on admet qu'une quantité finie est négligeable par rapport à une quantité nulle. L'insuffisance même des hypothèses retire toute valeur aux résultats obtenus.

2° L'inductance L et la résistance R correspondent au cas de deux conducteurs en parallèle, l'un d'impédance d'onde Z_1 (2) et de certaine longueur, l'autre d'impédance R et de longueur pratiquement nulle. Lorsqu'une onde incidente se propageant sur Z_1 arrive en A elle se divise en trois parties dont l'une est réfléchie, les deux autres se propageant respectivement par l'inductance et la résistance. L'onde qui parcourt la résistance arrive instantanément en B du fait que la longueur de la résistance est pratiquement nulle. Elle se divise alors en deux parties, l'une négligeable revenant dans l'inductance (sens des flèches de la figure 1), l'autre se propageant sur Z_2. L'onde qui parcourt l'inductance

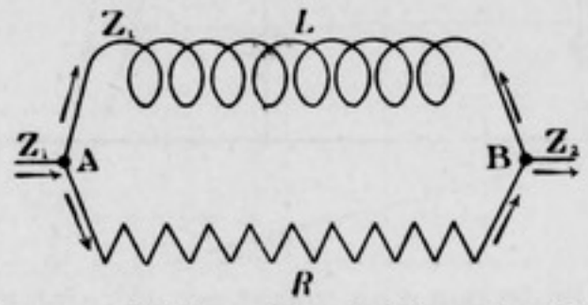


Fig. 1. — Schéma d'une bobine shuntée : L, bobine; R, résistance.

n'arrive en B que plus tard en raison du temps de parcours appréciable de celle-ci. Elle se divise également en deux parties, l'une négligeable retraversant la résistance, l'autre se propageant sur Z_2.

Ainsi donc, on peut dire avec une approximation très suffisante qu'une bobine shuntée a pour effet d'étaler un front d'onde en deux gradins successifs (fig. 2). Ce raisonnement n'est valable que si la longueur de la bobine est au moins égale à celle du front

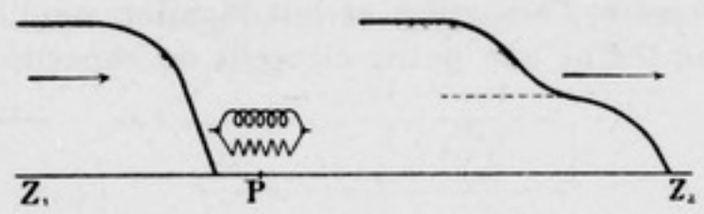


Fig. 2. — Etalement d'un front d'onde en deux gradins résultant de l'action d'une bobine shuntée.

de l'onde incidente. Pour une longueur plus faible, l'efficacité du dispositif décroît rapidement.

Si l'on tient compte de ce que la résistance consomme une certaine quantité d'énergie, on voit que la bobine shuntée a pour effet d'étaler et d'amortir les ondes mobiles, l'effet d'étalement étant prédominant contrairement aux idées généralement admises.

La théorie que nous venons de rappeler a été étendue au cas général d'un nombre quelconque de dérivations en parallèle (ces dérivations étant indifféremment conductives, à réactance d'induction ou de capacité) et exposée par nous pour la première fois dans son ensemble (1). La figure 3 représente le schéma général des étaleurs d'ondes à circuits dérivés comprenant un nombre quelconque de dérivations, $z_1\ l_1\ v_1$, $z_2\ l_2\ v_2$, ..., $z_n\ l_n$, v_n de caractéristiques et de longueurs différentes telle que la durée de parcours soit différente pour chacune d'elles.

Dans l'absorbeur d'ondes présenté par M. Grant dans son rapport déjà cité, appareil construit par la Ferranti Co ltd, l'inductance n'est pas shuntée par une résistance, mais agit inductivement sur un secondaire

(1) Ch. Lebdux. « Les inductances de protection contre les surtensions et les appareils dérivés », conférence faite à Bruxelles le 15 mai 1929 à l'Association des Constructeurs de Matériel électrique belges.

(2) Il ne s'agit que d'une approximation. Ch. Lebdux. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit., notamment 17 décembre 1927, p. 1045-1052.

(1) Ch. Lebdux. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit. et *Brevet français n° 578 066* du 5 mars 1924.

résistant. L'appareil correspond donc au schéma de la figure 4, qui a été indiqué dans son principe et dans ses possibilités de réalisation par G. Campos (1).

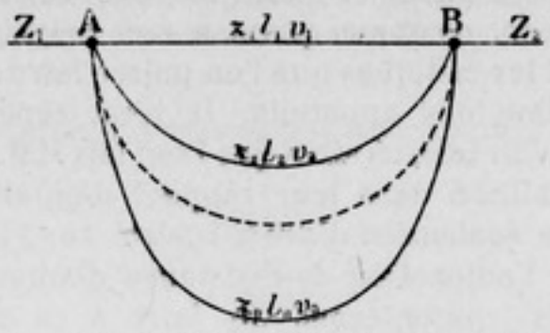


Fig. 3. — Schéma général des étalons d'ondes à circuits dérivés.

En ce qui concerne les oscillations entretenues ce dispositif équivaut à celui de la bobine shuntée. Quant aux ondes mobiles, il ne saurait y avoir équivalence par le fait que seul, l'effet d'amortissement demeure, aucun effet d'étalement autre que celui dû à la bobine

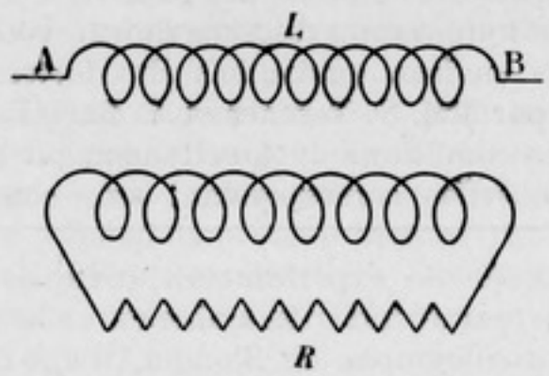


Fig. 4. — Schéma de l'absorbeur d'ondes : réactance et résistance à fonctionnement inductif.

ne pouvant se produire (fig. 5). Or, nous venons de montrer que dans la bobine shuntée l'effet d'étalement est dominant, point capital puis- qu'il est parfaitement démontré que la foudre engendre sur les lignes des

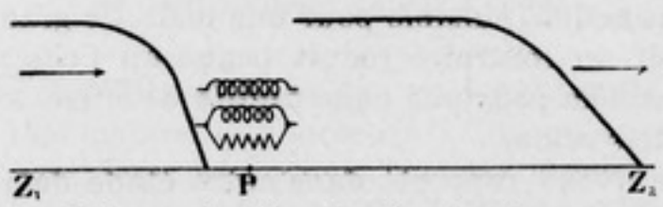


Fig. 5. — Etalement d'un front d'onde sous l'action de l'absorbeur d'ondes système Grant.

ondes mobiles isolées à front très raide, plutôt que des oscillations de haute fréquence.

Il en résulte que l'appareil de M. Grant n'apporte aucune nouveauté technique réelle et ne possède même pas de qualités équivalentes à celles de la simple bobine shuntée de Campos. Ceci s'applique à l'absorbeur d'ondes de la Ferranti Co ltd tel qu'il a été conçu initialement (2), c'est-à-dire avec secondaire isolé du sol. Lorsque le secondaire est relié au sol, l'appareil fonctionne alors comme condensateur. Nous l'examinerons sous cet aspect au paragraphe suivant sur les absorbeurs d'ondes du système capacité et résistance.

Nous avons établi nous-mêmes un appareil à réactance et résistance déjà bien connu des exploitants sous le nom d'amortisseur de surtensions. Nous ne reprendrons pas ici son étude complète, mais nous nous contenterons de rappeler quelques points essentiels. L'amortisseur de surtensions est essentiellement constitué (1), sous sa forme habituelle de réalisation, par trois bobines concentriques connectées en série et à flux concordants, la bobine intermédiaire étant entièrement enrobée dans une masse résistante. Le tout est monté sur une carcasse constituée par un tube isolant en grès fermé à ses extrémités par des calottes métalliques servant de prises de courant.

Pour des oscillations entretenues, l'amortisseur de surtensions est équivalent à une bobine shuntée. Mais il convient de noter que la disposition des bobines en couches concentriques lui donne, à encombrement égal, un self-inductance et, partant, une efficacité au moins cinq fois plus grandes.

Pour des ondes mobiles, l'effet d'amortissement est au moins égal à celui d'une bobine shuntée de caractéristiques comparables, c'est-à-dire beaucoup plus volumineuse, puisque le flux produit par toutes les bobines est embrassé par la bobine shuntée. L'effet d'étalement est plus considérable et plus progressif que dans aucun autre dispositif parce que : 1° il existe, en raison de la disposition même des bobines, des dérivations électromagnétiques entre bobines qui permettent à une onde de se transmettre en partie inductivement d'une bobine à l'autre plus rapidement qu'en suivant le conducteur ; 2° dans la bobine shuntée des courants dérivés de spire à spire à travers la masse de la résistance transmettent en partie une onde par des chemins plus courts que celui constitué par le conducteur enrobé.

Il en résulte qu'une onde mobile est déformée ainsi qu'il est indiqué sur la figure 6. La comparaison des figures 2,5 et 6 montre les différences essentielles qui

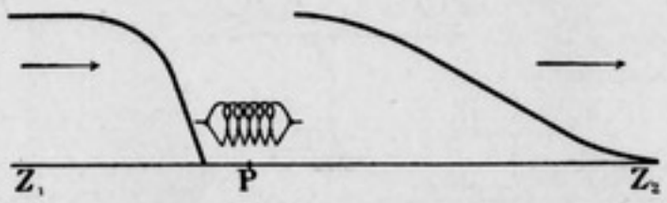


Fig. 6. — Etalement d'un front d'onde sous l'action d'un amortisseur de surtensions.

existent entre les différents systèmes d'absorbeurs d'ondes à réactance et résistance que nous venons d'examiner.

L'amortisseur de surtensions dont les dimensions et les caractéristiques varient avec les conditions de ser-

(1) C. Campos. *Brevet français n° 419 675* du 25 août 1910 correspondant au brevet italien du 26 août 1909.

(2) *Brevet français n° 582 314* du 5 juin 1924 d'Electrical Improvements, correspondant au brevet anglais n° 217 331.

(1) Ch. Ladoux ; *Revue générale de l'Electricité*, 17 décembre 1927, t. XXII, p. 1 058.

vice présente une remarquable souplesse d'adaptation aux conditions les plus diverses.

Le dispositif à câble-shunt, présenté par MM. A. Tchernycheff et V. Glazanof (1) et comprenant une bobine de Campos shuntée par un câble de certaine longueur (fig. 7), constitue un cas particulier de l'étaleur d'ondes

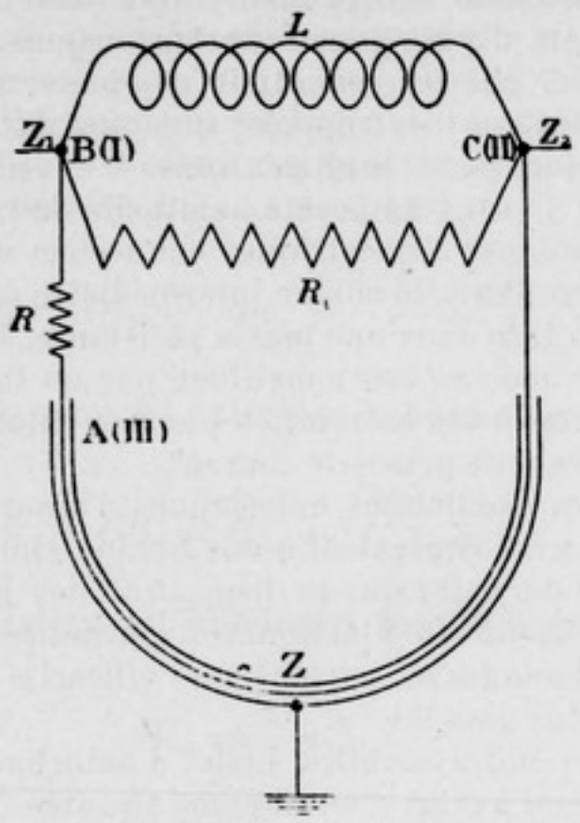


Fig. 7. — Schéma du dispositif de protection de MM. Tchernycheff et Glazanof.

à circuits dérivés de la figure 3 et faisant l'objet de notre brevet n° 578 066 du 5 mars 1924. Aucun élément nouveau n'est donc apporté par les auteurs ni dans le principe, ni dans le choix des éléments constituants du système proposé qui équivaut à peu près au schéma du condensateur étaleur d'ondes Bunet-Ledoux com-

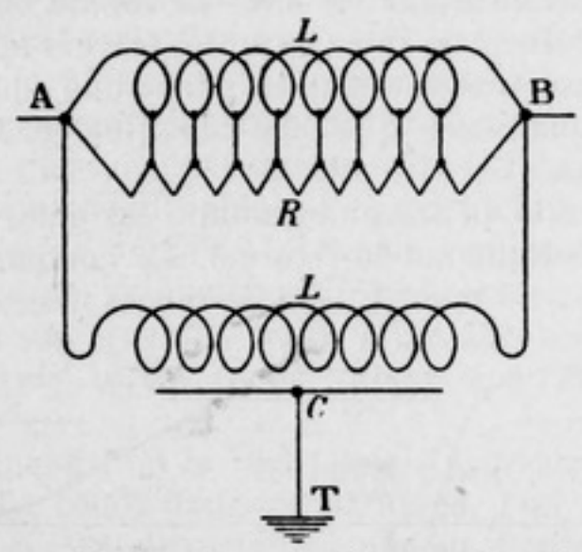


Fig. 8. — Schéma d'un amortisseur de surtensions combiné avec un étaleur d'ondes système Bunet-Ledoux.

biné avec un amortisseur de surtensions dérivé (fig. 8) (2).

Nous reviendrons sur cet appareil au chapitre suivant.

(1) A. Tchernycheff et V. Glazanof. *Loc. cit.*

(2) M. Ledoux. *Revue générale de l'Electricité*, 17 décembre 1927, t. XXII, p. 1061 et *Brevet français n° 634 853* du 23 mai 1927.

III. **Condensateurs de protection et absorbeurs d'ondes dérivés.** — L'efficacité des condensateurs placés en dérivation pour la protection contre les surtensions (oscillations et ondes mobiles) est aujourd'hui unanimement reconnue quant à son principe, quelles que soient les critiques que l'on puisse faire concernant la réalisation des appareils. Il n'est cependant pas inutile d'avoir insisté, ainsi que l'ont fait MM. S. Teszner et L. Barbillion dans leur rapport déjà cité. Il n'est pas inutile également d'avoir insisté sur l'intérêt présenté par l'adjonction de résistance d'amortissement. Nous nous contenterons de faire à ce sujet deux remarques :

1° Les ordres de grandeur fixés par les auteurs pour les capacités à employer nous paraissent assez faibles. Il est bon que la capacité des condensateurs soit suffisante pour pouvoir emmagasiner une quantité appréciable d'énergie. Il est bien difficile de fixer, ainsi que le disent les auteurs eux-mêmes, autre chose qu'un ordre de grandeur. Toutefois, ayant établi nous-mêmes des condensateurs de protection, ainsi que nous le précisons plus loin, nous avons cru devoir nous arrêter à des valeurs environ quatre fois plus fortes que celles indiquées par MM. S. Teszner et L. Barbillion et cela, malgré des conditions de fonctionnement bien meilleures que celles correspondant aux condensateurs ordinaires ;

2° La méthode expérimentale indiquée pour les essais nous paraît fort discutable en raison de l'emploi d'un oscillographe de Blondel, d'une ligne artificielle et, surtout, d'ondes mobiles de tension extrêmement faible. Il n'est pas certain du tout qu'une onde mobile de tension très faible se comporte d'une manière rigoureusement comparable à une onde mobile de tension élevée, c'est-à-dire à front très raide, quant à sa propagation et surtout à sa déformation dans les inductances et les condensateurs. En particulier, la longueur de la dérivation contenant un condensateur est sans action nuisible pour une onde de grande longueur et au contraire réduit beaucoup l'efficacité du condensateur pour une onde mobile de faible longueur (front très raide).

Nous avons rapporté dans notre étude de 1927 sur les ondes mobiles une série d'essais effectués avec un montage comparable à celui de MM. S. Teszner et L. Barbillion, mais comportant des lignes réelles, et non des lignes artificielles. Nous avons eu soin, pour demeurer en contact plus étroit avec les conditions pratiques, de produire des ondes mobiles dont l'amplitude était comprise entre 10 et 30 kv pour l'essai d'appareil de protection dont la tension normale d'emploi était de 10 000 v. Il nous a paru que seuls, des essais effectués dans de telles conditions ont un caractère suffisamment comparable avec les conditions de la pratique. Ces essais nous ont montré notamment l'influence considérable de la longueur de la dérivation contenant le condensateur de protection. Nous avons été des premiers, si ce n'est le premier, à signaler le fait. Si nous considérons un condensateur C dérivé

(fig. 9) au point de jonction P de deux tronçons de conducteurs d'impédance d'onde Z_1 et Z_2, nous voyons immédiatement qu'une onde mobile arrivant au point P se divise en fonction des caractéristiques linéiques des conducteurs au voisinage du point P. Le condensateur

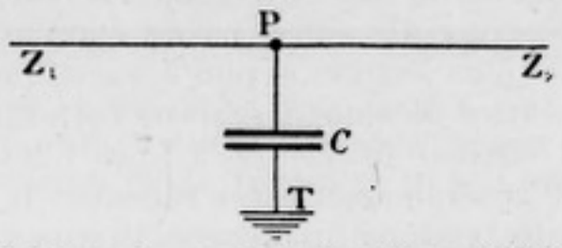


Fig. 9. — Schéma de montage d'un dispositif de protection par condensateur C dérivé.

ne commence à exercer réellement son action qu'au moment où l'onde partielle qui l'a traversé est revenue au point P après avoir été réfléchie au sol avec changement de signe. Ce retard de fonctionnement du condensateur fait que l'efficacité réelle du dispositif est inférieure à son efficacité théorique, surtout lorsque celle-ci est déterminée dans l'hypothèse erronée d'ondes rectangulaires.

Une fois l'inconvénient découvert, nous avons immédiatement cherché le moyen d'y remédier et nous y avons réussi en créant notre condensateur étaleur d'ondes qui répond dans son principe (1) au schéma de la figure 10. Cet appareil a déjà été étudié dans son principe et dans sa réalisation à divers points de vue (2).

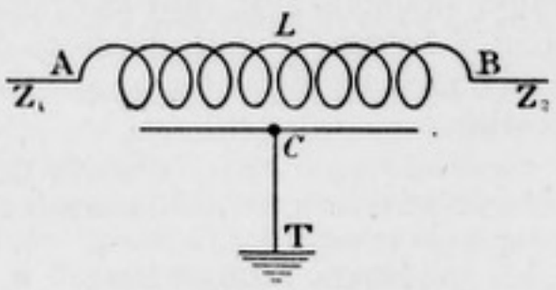


Fig. 10. — Schéma de principe du condensateur étaleur d'ondes.

Nous ne rappellerons donc que quelques points principaux. Une bobine d'inductance L (ou un conducteur quelconque) traversée par le courant normal de service constitue l'une des armatures d'un condensateur, l'autre armature C étant reliée à la terre. Pour des oscillations entretenues, cet appareil équivaut à un condensateur ordinaire. Pour des ondes mobiles il n'en est pas de même. En effet, lorsqu'une onde mobile pénètre dans l'appareil, elle occupe tout d'abord les premières spires de la bobine qui constituent un condensateur partiel. Le dispositif commence donc à agir dès l'instant que l'onde pénètre dans la bobine et ne cesse que lorsque l'onde est complètement écoulée. La longueur de la bobine est telle que la durée du parcours de l'onde suivant ladite bobine est plus élevée que la durée de parcours aller et retour de la dérivation à la terre. Un tel condensateur possède donc une efficacité égale à celle théorique du condensateur dérivé, et même supérieure en raison de l'effet d'étalement dû à l'induction mutuelle entre spires et à l'induction électrostatique de chaque condensateur élémentaire correspondant à une spire sur tous les autres.

En pratique, le condensateur Bunet-Ledoux présente de remarquables particularités de construction (1). Les bobines en série sur la ligne sont à pas croissant aux extrémités et l'armature de terre est elle-même constituée par des bobines concentriques également à pas croissant aux extrémités. De cette manière, la distance entre conducteurs de polarité différente augmente lorsqu'on s'approche des extrémités, ce qui supprime complètement l'effet de bord. Cette solution extrêmement originale est due à M. Bunet (2). L'ensemble des armatures, convenablement maintenues par des cales isolantes, est placé dans un tube en grès fermé à ses extrémités par une base et une calotte métalliques et rempli dans le vide par une masse isolante. Une résistance d'amortissement est insérée entre l'armature et la terre.

L'appareil présente dans son ensemble l'aspect de la figure 11 (à gauche). Pour les tensions élevées, l'appareil comprend plusieurs éléments montés en colonne, chacun d'eux supportant une fraction de la tension

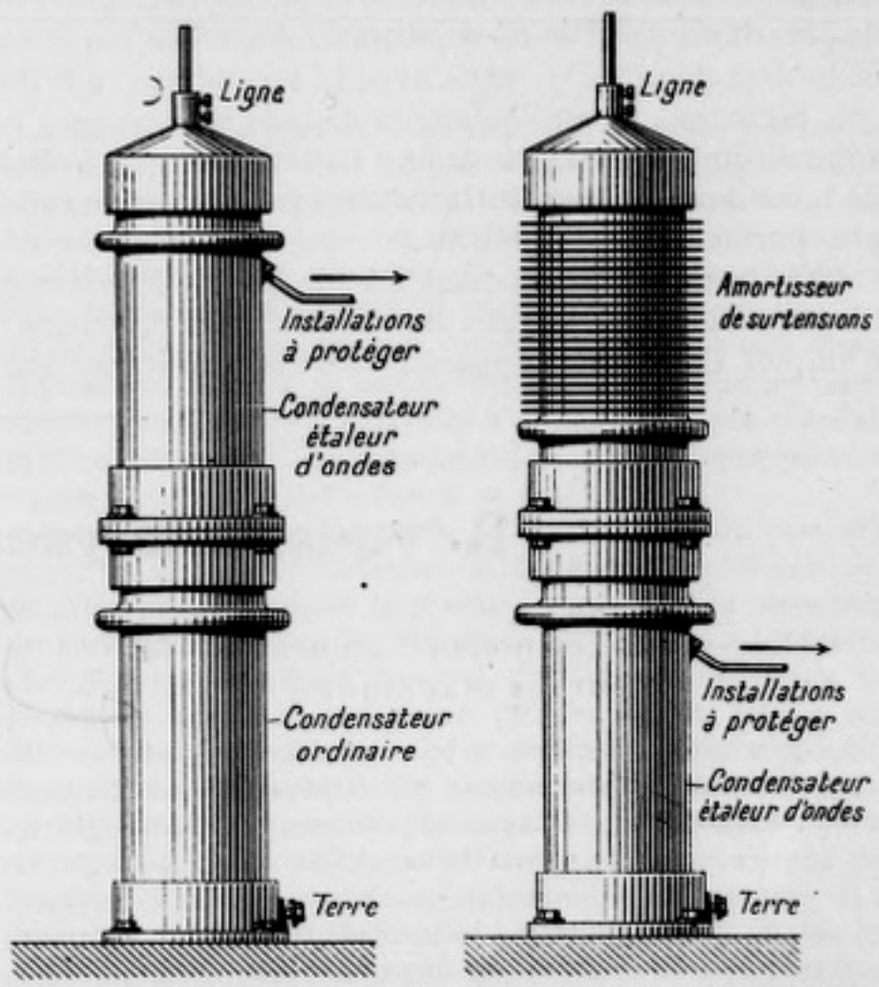


Fig. 11. — Vues d'un condensateur Bunet-Ledoux à éléments superposés pour très haute tension (à gauche) et d'un condensateur Bunet-Ledoux combiné avec un amortisseur de surtensions (à droite).

(1) *Brevet français n° 578 066*, du 5 mars 1924.

(2) Ch. Ledoux ; *Revue générale de l'Electricité*, 17 décembre 1927, t. XXII, p. 1060-1061.

P. Bunet ; Protection contre les ondes mobiles, oscillations et surtensions. *Revue générale de l'Electricité*, août 1927, t. XXII,, 305-311 et 341-352.

(1) Ch. Ledoux. *Loc. cit.*

(2) P. Bunet ; Capacités et condensateurs. *Revue générale de l'Electricité*, 21 août 1920, t. VIII, p. 247-250.

totale. Pour les courants élevés, il peut être combiné à un amortisseur de surtensions dérivé aux bornes, suivant le schéma de principe de la figure 8. Normalement, il est employé conjointement à un amortisseur de surtensions placé en série, les deux appareils étant montés soit indépendamment, soit en colonne en un appareil unique (fig. 11 à droite). On réalise ainsi la succession d'un conducteur de forte impédance d'onde (amortisseur) et d'un conducteur de faible impédance (étaleur d'ondes) doués tous deux de remarquables propriétés d'étalement et d'amortissement. Aucun autre groupement d'inductances, de condensateurs et de résistances ne peut revendiquer ni la même efficacité, ni la même simplicité d'installation, ni la même économie découlant de la simplicité de construction.

Dans l'absorbeur d'ondes de la Ferranti Co ltd, le schéma de la figure 10 est réalisé lorsque le secondaire est mis à la terre. Le fonctionnement de l'appareil s'en trouve donc amélioré. Nous tenons essentiellement à revendiquer la propriété de ce dispositif, qui est décrit dans notre brevet n° 578 066 du 5 mars 1924, alors que les brevets français n° 582 314 et anglais n° 217 331 concernant l'appareil de la Ferranti Co ltd ne mentionnent nulle part la mise à la terre du secondaire. Ce dernier point n'est en effet indiqué que dans le brevet anglais n° 261 106 du 15 août 1925 postérieur au nôtre de plus d'un an et cela, sous une forme différente de celle déjà décrite (1), mais avec le secondaire relié au sol. Signalons encore qu'aucun dispositif ne permet la suppression, ou tout au moins l'atténuation de l'effet de bord dans l'appareil Grant-Ferranti, ce qui le rend plus particulièrement délicat.

Pour terminer nos remarques sur les condensateurs de protection nous dirons un mot de leurs conditions d'emploi. Ce sont des appareils dont la robustesse doit être la qualité essentielle, ce qui n'est pas toujours réalisé. Ils sont en général assez coûteux. Cela ne permet pas leur généralisation dans tous les réseaux. On doit donc réserver leur emploi aux postes plus particulièrement exposés (par exemple les postes placés aux extrémités des lignes) ou que l'expérience révèle plus délicats, la protection des autres postes étant assurée par des systèmes plus simples et plus économiques : fortes bobines shuntées ou amortisseurs de surtensions.

Pour les tensions inférieures à 6 000 v les enroulements sont généralement assez robustes. Il en est de même pour les tensions supérieures à 100 000 v, car les puissances mises en jeu sont alors considérables et il est relativement plus aisé de soigner l'isolement. Ces valeurs délimitent donc les tensions d'emploi des condensateurs, sans qu'il y ait inconvénient à employer ces appareils ou difficulté à les construire pour des tensions quelconques lorsque les conditions particulières en font ressortir l'utilité.

IV. **Conclusion**. — Nous espérons avoir démontré dans les lignes qui précèdent que les dispositifs de protection contre les surtensions, qui ont fait l'objet de communications à la dernière session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension, sont basés sur des principes déjà exposés par nous, en particulier dans ces colonnes. Ainsi que nous l'avons fait ressortir, ces principes nous ont conduits à la réalisation d'appareils décrits ici même et présentant de grandes analogies avec ceux auxquels nous faisons allusion ci-dessus. Il était de notre devoir de relever ces analogies en même temps que l'antériorité de nos dispositifs..

Charles Ledoux,
Ingénieur I. E. T.

Revues, analyses et informations

Analyse et mesure du bruit émis par les machines (2).

La question du bruit émis par une machine, que ce soit un moteur, un transformateur, voire même un haut-parleur, a une importance évidente et son étude rationnelle au moyen d'appareils appropriés est d'un intérêt certain. Le but généralement poursuivi est double. Il s'agit de déterminer, en premier lieu, si le bruit dépasse, et de combien, une intensité admissible ; en deuxième lieu, de connaître la cause du bruit pour pouvoir le modifier à volonté. Dans cette étude, il ne sera procédé qu'à la description des appareils utilisés et à la discussion de leurs conditions d'emploi à l'exclusion à peu près complète des résultats expérimentaux.

1. Généralités. — Bien que, en définitive, en matière de bruits, ce soit l'oreille humaine qui juge en dernier ressort, la nécessité d'un appareil de mesure s'impose. En dépit de sa sensibilité, l'oreille est tout à fait incapable de servir à fixer une unité d'intensité de son et de faire des mesures. Elle sera utile seulement à fixer une limite acceptable d'une intensité de bruit. Il s'ensuit qu'il va être nécessaire d'exprimer numériquement la sensibilité de l'oreille.

Si nous considérons un son émis par l'artifice connu de la « sphère pulsante », nous savons que ce son se propage dans l'air comme une onde sphérique. On peut prendre comme mesure de l'intensité du son, en un point déterminé, la variation de pression que le passage de l'onde sonore produit en ce point, dans le milieu propagateur. Nous l'exprimerons donc en dynes par centimètre carré.

En possession de cette unité, nous allons pouvoir fixer les limites de sensibilité de l'oreille. Leur étude a été l'objet de travaux nombreux. Nous retiendrons ceux de Wegel et de Knudsen. Le premier a montré que les limites de perception de l'oreille étaient comprises entre des fréquences de 20 à

(1) Vincent-Z. de Ferranti ; La protection contre la foudre et les surtensions. *Compte rendu des travaux de la troisième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension* (1925), t. II, p. 325-332.

(2) B.-A.-G. Churcher et A.-J. King. *Journal of the Institution of electrical Engineers*, janvier 1930, t. LXVIII, p. 97-131, 24 600 mots, 28 figures, 4 tableaux.

20 000 p : s. La sensibilité maximum et minimum varie avec la fréquence. La limite inférieure est, pour une oreille moyenne, de 5×10^{-4} dynes : cm² pour une fréquence de 3 000 p : s. Le maximum d'intensité supportable atteint 5 000 dynes : cm² à 700 p : s. Le deuxième auteur a étudié la variation minimum $\frac{\Delta p}{p}$ et $\frac{\Delta f}{f}$ de la pression sonore et de la fréquence qu'une oreille moyenne décèle. Il trouve que $\frac{\Delta p}{p}$ décroît avec l'intensité et reste égale à 0,05 à partir de 0,25 dynes : cm². Sa valeur reste sensiblement égale à 0,05, quelle que soit la limite, pourvu qu'on soit assez loin de la limite inférieure de sensibilité. Sous cette même réserve $\frac{\Delta f}{f}$ décroît si la fréquence augmente et reste égal à 0,003 environ pour des fréquences plus grandes que 800 p : s. Ce résultat n'a rien à voir avec la détermination absolue des fréquences, que peu de gens réalisent à 5 pour 100 près. Nous voyons donc quelle grande marge de sensibilité et de fréquence doivent posséder les appareils de mesure eu égard à celle de l'oreille et à celle, aussi, des bruits à observer.

2. Principe de l'appareillage de mesure. — En principe, l'appareillage utilisé ici est constitué par un microphone relié à un oscillographe par l'intermédiaire d'un amplificateur. L'emploi d'un oscillographe est peu pratique dans le cas d'une vibration complexe, vu la difficulté de l'analyse harmonique graphique de cette vibration. On préfère, dans ce cas, passer par l'intermédiaire d'un analyseur de fréquence et mesurer l'intensité correspondant à chaque composante au moyen d'un galvanomètre.

Le premier appareil utilisé comporte un microphone du type « moving coil » bien connu, et qui n'est en somme qu'un haut-parleur électrodynamique à cône fonctionnant comme récepteur. Comme, le plus souvent, on a à analyser un bruit dans lequel un son aigu faible se mêle à un fond bien plus intense de notes graves, il y a intérêt à utiliser, à la suite du microphone, un amplificateur dont le coefficient d'amplification soit proportionnel à la fréquence sous peine de rendre insensible, à l'enregistrement graphique, les composantes aiguës de faible amplitude. Cet amplificateur comporte une première lampe couplée avec la suivante au moyen d'un transformateur à primaire apériodique. Le courant dans le secondaire est proportionnel à la fréquence jusqu'à 5 000 p : s. Cette lampe est suivie de quatre étages à résistances et de deux lampes de puissance en parallèle à la sortie. Un transformateur à basse fréquence relie l'amplificateur à l'oscillographe. L'analyseur de fréquences parfois utilisé est constitué par deux circuits oscillants ajustables couplés. La résonance ainsi établie a lieu sur une plus grande gamme que par le dispositif habituel, self-inductance et condensateur, dont la précision plus grande n'est pas nécessaire ici.

3. Etalonnage des appareils. — Pour un microphone dans lequel on néglige l'amortissement dû à l'air, la force électromotrice produite par un son d'intensité exprimée en dynes par centimètre carré est donnée par la formule

$$e = \frac{apr\,NB}{m_t f} \times 10^{-5} \text{ millivolts},$$

où a est l'aire du cône ; p, la pression correspondant au son ; r, le rayon de la bobine mobile de N spires placée dans un champ d'intensité B ; f, la fréquence du son et m_t, la masse totale de la bobine et du cône.

Pour étalonner l'appareil à partir de cette formule, on introduit dans le circuit du microphone une force électromotrice de fréquence et de valeur connue et on trace les courbes caractéristiques donnant, en fonction de la fréquence, la déviation de l'oscillographe ou du galvanomètre de l'analyseur, par millivolt, dans le circuit du microphone.

Pour avoir la sensibilité utile de l'appareil, il faut le soumettre à un son d'intensité connue. En utilisant comme source sonore un haut-parleur, placé, à l'air libre, à une distance connue, on peut reconnaître que jusqu'à 600 p : s le microphone a une sensibilité peu différente de celle que la formule donnée plus haut permet de calculer.

Mais des mesures plus précises sont nécessaires, en particulier dans l'évaluation de l'intensité de la source sonore. Une première méthode, basée sur la mesure de la pression de radiation, fut abandonnée à cause des difficultés expérimentales qu'elle impliquait. L'usage du disque de Rayleigh donna de meilleurs résultats avec le dispositif suivant : le haut-parleur et le microphone sont portés par des pistons mobiles placés aux extrémités d'un tube dans lequel on produit les ondes stationnaires correspondant à la fréquence utilisée. Le disque de Rayleigh, préalablement étalonné, est placé dans ce tube à un ventre de pression et mesure l'intensité du son. Des corrections appropriées sont faites, eu égard à la perturbation apportée aux différentes fréquences par la réflexion du son sur la membrane du microphone. On trace ainsi la courbe de sensibilité de l'appareil en fonction de la fréquence pour une même pression de 1 dyne : cm². L'étalonnage fait de 20 à 5 000 p : s va pouvoir alors permettre d'utiliser le dispositif à l'étude des bruits de machines.

4. Conditions d'emploi. — Le dispositif d'études réellement utilisé diffère très peu de l'appareillage de principe. Le microphone type « moving coil » n'est remplacé par un microphone électrostatique que pour des fréquences au-delà de 5 000 p : s. L'analyseur de son comporte des self-inductances bobinées dans l'air ou sur un noyau de permalloy, selon que l'on travaille en haute ou en basse fréquence. Le courant issu de cet appareil est mesuré au moyen d'un couple et d'un galvanomètre. La marge de sensibilité et de fréquence est considérable et cependant, les résultats que donne l'appareil sont comparables entre eux à moins de 2 pour 100.

Pour déterminer l'intensité du son produit par une machine, il suffit de connaître la distance de cette dernière au microphone puisque la pression sonore est inversement proportionnelle à cette distance. Il y a lieu, toutefois, lorsqu'on travaille dans un local de dimensions finies, de prendre garde aux réflexions du son contre les parois, réflexions qui engendrent des ondes stationnaires. L'étude de la courbe de l'intensité du son en fonction de la distance renseignera alors sur la présence de ces altérations. En deuxième lieu, la présence de bruits parasites autres que ceux à mesurer est aussi à considérer. Cette dernière cause d'erreurs est souvent impossible à éliminer à moins d'opérer, comme l'ont fait les auteurs de ce travail, dans un laboratoire spécialement protégé contre les bruits extérieurs.

Ce laboratoire, entre autres dispositions, est formé de doubles parois en briques, recouvertes d'une couche ininterrompue de déchets de coton, de 20 cm d'épaisseur. Cette épaisseur fut choisie après maints essais. En dépit de ces précautions, la distribution de la pression correspondant au son est sérieusement affectée par la réflexion sur les parois, tout au moins aux basses fréquences. Cet effet ne devient insensible qu'aux environs de 2 000 p : s.

Des essais, conduits sur un moteur triphasé de 10 ch

placé dans la chambre d'essais et sur un turboalternateur de 1 000 kw, montrent qu'on peut, en analysant le son produit et en divisant la fréquence des diverses composantes par la vitesse angulaire en tours par seconde, retrouver l'origine des divers bruits et, par suite, agir sur leur intensité. Un essai fait sur un haut-parleur à pavillon, de modèle courant, a montré de façon saisissante l'imperfection de cet appareil quant à sa sensibilité aux diverses fréquences.

5. Conclusions. — L'évaluation du bruit total reste à faire. Les téléphonistes ont été guidés dans le choix d'une unité d'intensité du son à une fréquence donnée, par le fait que l'oreille change sa sensibilité avec l'intensité du son reçu. Il s'ensuit qu'une variation géométrique d'intensité n'apparait, à l'oreille, que sous la forme d'une variation arithmétique de force. Si donc on prend la différence des logarithmes des intensités de deux notes N_1 et N_2, celle de N_1 étant la limite d'audibilité, cette différence mesurera la force de N_2. L'unité choisie en partant d'un système de logarithmes de base 10, est le *decibel*, du nom de Graham Bell. Toutefois, cette mesure ne s'applique qu'à des sons de même fréquence et il reste à faire l'évaluation de l'intensité du bruit total.

La méthode ci-dessus exposée peut encore être utilement appliquée au problème du silence des engins de locomotion terrestres et aériens, ainsi qu'à la mise au point des instruments de musique, des orgues en particulier. — A. A.

Progrès réalisés dans l'industrie électrique durant l'année 1929 (1).

L'auteur passe en revue les machines, appareils ou installations présentant un caractère marquant d'importance ou de nouveauté et exécutés durant l'année 1929 par la General electric Company, dans ses divers ateliers.

1. Turbines, alternateurs et compensateurs synchrones. — En ce qui concerne les turbines à vapeur, l'utilisation des hautes pressions (jusqu'à 84,5 kg:cm²) et des surchauffes jusqu'à 400°C a été de plus en plus courante. Plusieurs unités de 50 000 kw et 110 000 kw à 3 600 et 1 800 t:mn d'un nouveau type de turbine dit « vertical-compound » ont été mises en service. Ces unités sont composées d'une turbine à haute pression et d'une turbine à basse pression superposées, chacune d'elles entraînant un alternateur. Le groupe turboalternateur à haute pression est fixé sur le sommet du groupe à basse pression. Cette disposition permet un important gain de place et une appréciable économie de fondations. De plus, dans les cas où les alternateurs sont de puissances comparables, le même circuit de refroidissement peut être utilisé pour les deux machines. Un groupe de 160 000 kw a été construit pour la station d'East River, de la New-York Edison Company. Les turbines sont compound du type tandem normal et l'alternateur, qui est le plus puissant construit à ce jour, est à double enroulement. Un groupe triple compound, d'une puissance totale de 208 000 kw, a été mis en exploitation. Il est composé au centre d'un turboalternateur à haute pression de 76 000 kw à 1 800 t:mn échappant après réchauffage dans deux turboalternateurs latéraux de 62 000 kw à 1 800 t:mn. Les deux turbines latérales sont à admission centrale et à double flux de vapeur. Il est à noter, comme particularités de construction, l'emploi, pour les carcasses des turbines, de plaques d'acier soudées au lieu de fonte, et, pour les alternateurs, le bobinage de certains d'entre eux pour une tension de 22 000 v. La turbine à vapeur de mercure de 10 000 kw installée à la station de South Meadow, à Hartford (Connecticut), a donné satisfaction et l'économie de combustible qu'elle permet de réaliser est de 800 dollars par jour.

En ce qui concerne les turbines hydrauliques, il convient de signaler la construction de quatre unités pour alternateurs de 77 500 kv-a, à 88,25 t:mn.

Un compensateur synchrone de 15 000 kw à 900 t:mn et 11 500 v a été construit pour installation extérieure et équipé avec un système de refroidissement par air de l'huile des paliers, afin d'éviter les serpentins parcourus par l'eau, ce qui présente des risques par temps froid. Il y a lieu également de mentionner deux convertisseurs synchrones de 3 000 kw à 300 t:mn, pour lesquels l'hydrogène a été utilisé comme fluide réfrigérant.

2. Transformateurs et redresseurs. — Les transformateurs ont été l'objet de grands perfectionnements, surtout en ce qui concerne les grosses unités. La construction des appareils dits « antirésonnants » a été développée. Ces appareils sont munis autour de leurs enroulements de pièces métalliques ou pièces de garde présentant avec les enroulements une certaine capacité par rapport à la terre. Lors de l'arrivée d'une onde à front raide ou d'une onde quelconque de surtension, les courants de capacitance s'écoulent à la terre directement par ces pièces et ne sont pas obligés de parcourir les enroulements, de sorte que les différences de tension entre points de l'enroulement ne dépendent plus des fréquences des ondes de surtension. Ce mode de construction n'est économique que pour les tensions très élevées. Parmi les appareils les plus puissants ainsi équipés on peut citer 3 transformateurs monophasés de 40 000 kv-a à 220 kv, 50 p:s pour la Southern California Edison Company. Les dispositifs de réglage de la tension en charge se répandent de plus en plus et un nouveau type pouvant être utilisé pour des courants jusqu'à une intensité de 2 000 a a été mis au point.

La puissance unitaire maximum des redresseurs à vapeur de mercure a été portée à 6 500 kw. Un nouveau système de compoundage des redresseurs a été innové pour la traction électrique : il consiste dans l'insertion d'inductances et de capacités dans les phases du redresseur.

3. Applications mécaniques de l'électricité. — Dans les applications mécaniques de l'électricité, la propulsion électrique des navires a été étendue à six nouveaux vapeurs de la marine marchande équipés au moyen de groupes turboalternateurs et de moteurs asynchrones directement accouplés aux arbres des hélices. Parmi ceux-ci le « Pensylvania », paquebot à voyageurs construit pour le service de la Panama-Pacific Line, comporte deux moteurs de 8 500 ch à 120 t:mn et 4 000 v.

Dans la traction, de multiples équipements ont été livrés ou sont en cours de construction, dont en particulier : 42 locomotives à 6 moteurs pour la New-York central Railroad Company, 141 moteurs ou équipements de contrôle pour montage suivant le système à unités multiples et alimentation directe à 3 000 v en courant continu, pour la Delaware, Lackawanna and Western Railroad, 22 locomotives de 204 t chacune, à 3 000 v en courant continu, pour les Cleveland Union terminal Lines, etc. Il y a lieu enfin de citer les 35 locomotives en cours de fabrication pour la New-York central Railroad Company, et destinées à un service de marchandises. Ce sont des motrices pourvues de groupes électrogènes à huile lourde qui comporteront cette

(1) John Listos. *General electric Review*, janvier 1930, t. xxxiii, p. 5-68, 32 000 mots, 151 figures.

particularité de pouvoir être mues par les moteurs à huile ou par les batteries d'accumulateurs ou par une combinaison des deux ou encore par alimentation des moteurs par troisième rail ou une ligne caténaire pendant les trajets sur les portions électrifiées de la voie. Chaque locomotive pèsera 128 t et sera munie d'un moteur à huile lourde de 300 ch. D'autres motrices du même système furent livrées à d'autres compagnies (Illinois central Railroad, Delaware, Lackavanna aux Western Railroad, etc.). Pour l'exploitation des lignes d'embranchement ou des services urbains, les véhicules pétroléo-électriques se développent de plus en plus. Les groupes électrogènes sont à huile lourde ou à essence.

Dans le département des mines et charbonnages, un appareil intéressant fut construit pour la Fidelity Mine des United electric Coal Companies. C'est une pelle électrique qui pèse 1 800 t et qui peut opérer jusqu'à 18 m environ de profondeur. L'équipement électrique comprend un moteur synchrone de 1700 kv-a, entraînant une génératrice de levage de 860 kw, une génératrice d'orientation de 350 kw et une génératrice de ramassage de 350 kw.

Dans le domaine de la métallurgie, la General electric Company a fourni pendant l'année un grand nombre de moteurs de laminoirs totalisant plus de 182000 ch. Environ 70 pour 100 de ce chiffre ont trait à des moteurs à courant continu à vitesse réglable. Dans un nouveau système d'entraînement des tables à rouleaux, chaque rouleau est muni d'un petit moteur à cage dont le stator est intérieur à la cage, celle-ci étant fixée au rouleau. Le stator est monté sur un arbre fixe et la cage tourne avec le rouleau autour de cet arbre, par des paliers à rouleaux.

4. Appareillage. — L'importance sans cesse croissante des systèmes de transmission et de distribution a conduit à la construction de dispositifs nouveaux tels que les postes ruraux alimentés directement par des lignes à 110000 v, la distribution se faisant, par exemple, sous 2300 v. Ce sont des postes pylônes composés de trois transformateurs monophasés couplés en triangle et comportant du côté de la haute tension un interrupteur à cornes et trois coupe-circuits fusibles. Un nouveau disjoncteur à chambre d'explosion a été conçu pour un service particulièrement sévère (pouvoir de coupure jusqu'à 2500000 kv-a).

L'article contient, en outre, de nombreux aperçus sur des réalisations intéressant l'aviation, la soudure électrique, le chauffage industriel, la réfrigération électrique, les recherches de laboratoire, les applications des tubes à vide, les instruments de mesure, l'éclairage, etc. — M. R.

La transmission de l'énergie électrique à 220 000 volts (1).

1. Généralités. — Les problèmes posés par la transmission de l'énergie électrique à 220000 v ont été aujourd'hui résolus avec succès et les lignes en exploitation à cette tension ont donné des résultats entièrement satisfaisants.

La pratique a attiré l'attention sur les points suivants : des interruptions de service dues à des contacts établis par des oiseaux ont montré l'intérêt de prévoir des dispositifs protecteurs en conséquence ; d'autre part, il a été nécessaire, sur certaines lignes, de prévoir des amortisseurs de vibration des conducteurs ; enfin, dans les régions soumises aux brouillards salins, le seul moyen satisfaisant de remédier aux défauts d'isolement dus aux dépôts de poussières conductrices sur les isolateurs a été de procéder à un net toyage périodique.

2. Problèmes techniques. — Les questions techniques posées par l'étude de la première ligne de transmission à 220000 v peuvent être ramenées aux suivantes : isolement, perte par effluves, courant de capacité élevé, appareillage et systèmes de protection, stabilité et enfin protection contre la foudre.

En ce qui concerne l'isolement, il fut décidé d'employer des chaînes de suspension à onze isolateurs normaux de 250 mm à 150 mm d'axe en axe, et pour les ancrages, des chaînes doubles de treize éléments. La répartition du potentiel a été uniformisée par l'emploi d'anneaux de garde fixés sur le dernier élément ou d'éléments à plus grande capacité électrostatique à l'extrémité située du côté du conducteur. D'autre part, pour détourner des isolateurs les arcs qui peuvent se former, on fixe également un anneau ou des cornes à l'extrémité de la chaîne fixée au pylône. En ce qui concerne les pertes par effluves, la pratique a montré qu'elles sont acceptables avec des conducteurs de 25 mm de diamètre.

3. Courant de capacité. — Pour les lignes à haute tension, le courant de capacité croît à peu près proportionnellement avec la tension et atteint, par exemple, pour une ligne à 220000 v de 350 km de longueur, une valeur d'environ 50000 kv-a. Cette énergie doit être fournie par une seule unité génératrice et un seul compensateur synchrone. D'autre part, en raison de la valeur élevée de ce courant de capacité, l'excitation des machines génératrices doit être faible et présenter une grande stabilité ; enfin, ce courant doit être fourni par l'extrémité réceptrice de la ligne de telle sorte que les génératrices n'aient pas à fournir de courant de capacité lorsqu'elles débitent sur la ligne. Quant au réglage de la tension, il est convenablement assuré au moyen de compensateurs synchrones placés à l'extrémité réceptrice, qui corrigent le facteur de puissance de la charge de la ligne de façon qu'il en résulte une chute de tension déterminée en ligne.

4. Disjoncteurs dans l'huile. — Les disjoncteurs dans l'huile pour la tension de 220000 v dérivent de ceux établis pour des tensions inférieures. C'est probablement la mise au point des bornes de sortie qui a été la plus difficile. Actuellement ces disjoncteurs sont établis pour un pouvoir de coupure allant jusqu'à 2500000 kv-a ; mais la pratique semble montrer qu'il faille envisager des chiffres de 30 à 40 pour 100 plus élevés. D'autre part, en raison de l'inertie assez grande des parties mobiles et de la longueur de la coupure à obtenir, le temps minimum de fonctionnement actuellement atteint est d'une demi-seconde. Il serait désirable d'arriver à une durée de fonctionnement n'excédant pas 4 à 5 périodes.

5. Systèmes de protection par relais. — On peut dire qu'à peu près tous les systèmes de protection par relais ont été utilisés sur les lignes à 220000 v suivant que l'exploitation se fait avec une ou plusieurs lignes. Nous signalerons particulièrement qu'une compagnie d'exploitation, ayant constaté au cours de cinq années et demie que tous les défauts ont été accompagnés d'un courant de perte à la terre, a décidé de n'utiliser que le système de protection par relais traversés par le courant de perte à la terre.

6. Stabilité. — Au point de vue de la stabilité il y a lieu de considérer les points suivants : *a*) les générateurs et

(1) *Electrical World*, 28 décembre 1929, t. XCIV, p. 1277-1281, 4500 mots, 1 figure, 1 tableau.

compensateurs synchrones doivent être établis avec un rapport de court-circuit très élevé, de l'ordre de 1,5 ou 2 à 1; *b*) l'excitation de ces machines doit pouvoir varier très rapidement; *c*) il est bon de prévoir un moyen de diminuer momentanément la puissance débitée par les machines génératrices à l'extrémité transmettrice en cas de court-circuit, pour diminuer leur tendance au décrochage; *d*) l'augmentation de la rapidité de fonctionnement des relais de protection et des disjoncteurs est sans doute le moyen le plus sûr d'éviter, en cas de dérangement, la perte de synchronisme entre les deux extrémités de la ligne; *e*) sur ces lignes ce sont les fautes entre phase et terre qui prédominent. Il en résulte une tendance marquée à limiter les courants de défaut à la terre par l'insertion de résistances ou de bobines d'inductance entre le sol et le neutre de quelques-uns des groupes de transformateurs à 220000 v.

On a enregistré des surtensions dues à la foudre de l'ordre de 2000000 volts et, à cet égard, le moyen de protection employé est celui du ou des fils de terre.

7. Lignes existantes et développements futurs. — Il existe actuellement aux Etats-Unis six lignes de transmission à 220 000 v en exploitation, dont deux depuis 1923; les caractéristiques essentielles en sont données dans l'article. Parmi les lignes européennes on compte en Allemagne une ligne en exploitation sur laquelle le nombre d'éléments par chaîne est inférieur à celui adopté aux Etats-Unis, mais ces éléments sont plus espacés les uns des autres en raison de leurs dimensions.

Au point de vue de l'énergie transmise on peut dire que les valeurs économiques relatives à la transmission à à 220000 v, 60 p:s sont comprises entre 100000 kw et 200000 kw; de 200000 kw à 400000 kw il faut considérer une tension de 330000 v. Toutefois, avant d'utiliser pratiquement une telle tension, il y a lieu de poursuivre les études et les recherches sur les problèmes de la transmission de l'énergie électrique à très haute tension. — J. S.

Système de régulation automatique des compensateurs synchrones (1).

1. Description. — La ligne de transmission d'énergie de Conowingo à la sous-station de Plymouth Meeting comprend une installation de trois compensateurs synchrones de 30000 kv-a munis d'un système d'excitation à régulation ultrarapide. Ces machines ont été prévues pour la régulation de la tension de la ligne et pour la fourniture de l'appoint de l'énergie nécessaire en période transitoire, par exemple en cas de courts-circuits ou de mises à la terre. L'excitation de ces machines est fournie par une excitatrice principale d'un type spécial comportant des pôles et une culasse feuilletés, un enroulement inducteur série et deux enroulements inducteurs séparés, l'un principal, l'autre auxiliaire. Ces deux derniers enroulements sont alimentés séparément par une génératrice auxiliaire à excitation shunt. L'enroulement principal est directement connecté à cette excitatrice par l'intermédiaire d'un rhéostat à commande par moteur. Il est établi pour donner l'excitation généralement nécessaire à la production de l'énergie requise dans les conditions normales de charge et de tension. Lorsqu'il est parcouru par le courant, il peut porter la charge du compensateur synchrone de 20 000 à 60 000 kv-a en avance et même au-dessus, si cela est nécessaire, dans toutes les conditions de stabilité.

(1) L.-W Thompson et P.-J. Walton. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, décembre 1929, t. xlviii, p. 868-872, 1 500 mots, 8 figures.

Le régulateur est d'un type ultrarapide mû par un servomoteur rotatif triphasé. Les contacts relais du régulateur agissent en mettant en circuit ou en court-circuit l'une ou l'autre de deux résistances d'un pont non équilibré par lequel est alimenté l'enroulement inducteur auxiliaire de l'excitatrice, dans un sens ou dans l'autre (fig. 1). Le champ inversé dépend du rapport du temps d'ouverture au temps

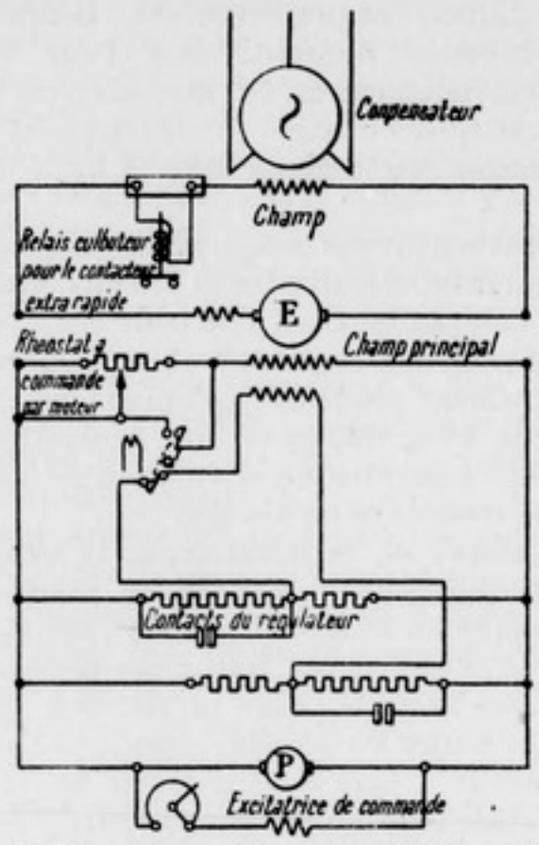


Fig. 1. — Schéma du système d'excitation ultrarapide pour compensateurs synchrones.

de fermeture des contacts. Pour les périodes transitoires, résultant de mises à la terre ou de courts-circuits entre deux ou plusieurs conducteurs, dès que la tension moyenne de la ligne a baissé de 5 pour 100, un deuxième relais de tension actionne un contacteur ultrarapide, qui ouvre le circuit inducteur auxiliaire et élimine la résistance en série avec l'inducteur principal. Dans ces conditions, la tension s'élève de 7000 v par seconde aux bornes de l'excitatrice principale. La résistance n'est insérée de nouveau que si la tension de la ligne est revenue à sa valeur normale ou si l'énergie réactive débitée par chaque compensateur synchrone a atteint 60000 kv-a. Dans ce dernier cas, l'insertion de la résistance s'opère par un relais de courant mettant en court-circuit le relais de tension. L'enroulement inducteur auxiliaire est remis en même temps en service et le régulateur est à même d'agir de nouveau.

2. Prévisions et essais. — Ces compensateurs synchrones sont de construction spéciale à grand pouvoir de surexcitation; à cet égard, chacun d'eux a été établi pour restituer au réseau de 10700 à 55 000 kv-a, le temps nécessaire pour passer de la puissance minimum à la puissance maximum, dans le cas d'un court-circuit sur la ligne, ne devant pas excéder la durée de 30,5 périodes dans le cas de l'alimentation à 60 p s. La tension de l'excitatrice atteint alors 900 v. Aux essais, ce résultat fut obtenu en 25 périodes environ, l'enroulement série de l'excitatrice contribuant beaucoup à la rapidité de l'accroissement du champ. Pratiquement, ce temps peut être encore plus court du fait de la chute instantanée de tension due au court-circuit, laquelle provoque, pour une excitation donnée et indépendamment de l'accroissement ultérieur de cette excitation, un appel instantané d'énergie réactive supplémentaire. — M. R.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Le marché international des métaux en 1929.

Sous ce titre, le « Bulletin quotidien » de la Société d'Etudes et d'Informations économiques publie une longue étude sur les cours des métaux non ferreux ainsi que sur la production et la consommation mondiale de ces métaux pendant l'année 1929. Nous en extrayons les renseignements qui suivent :

1. Les variations des cours. — A la différence de l'année 1928 qui s'était achevée sous le signe d'une hausse sur le marché des métaux, l'année 1929 se termine par une phase de dépression des cours sur ce marché, après avoir débuté par une période de hausse qui avait dépassé tous les cours atteints fin 1929,

Les faits déterminants de cette évolution du marché sont, d'une part, un accroissement sensible de la production mondiale des différents métaux, d'autre part, une régression de la consommation, particulièrement au cours du second semestre. Même là où la consommation s'est maintenue sensiblement égale, le déséquilibre entre l'offre et la demande a persisté et pesé sur le cours en dépit des efforts de la valorisation des producteurs.

Tous les métaux, à l'exception du cuivre électrolytique ont eu à subir des baisses plus ou moins lourdes, ainsi qu'en témoigne la comparaison des cours cotés à Londres fin 1928 et fin 1929 (en livres et shillings par tonnes) :

	31 décembre 1928		31 décembre 1929	
	liv.	sh.	liv.	sh.
Cuivre standard	74	12	68	
Cuivre électrolytique	77	5	83	
Zinc	26	17	19	1
Plomb	22		21	1
Etain	225	1	178	3

La dépréciation des cours atteint 21 pour 100 pour le zinc, 22 pour 100 pour l'étain, 9 pour 100 pour le cuivre standard ; le plomb témoigne d'une certaine stabilité ; le cuivre électrolytique est en hausse de 8 pour 100 environ.

Si l'on examine le tableau des cours de ces métaux aux différentes époques de l'année 1929, on constate que les cours du cuivre, du zinc et du plomb ont progressé régulièrement pendant le premier trimestre, puis sont descendus peu à peu pendant les six mois suivants, la chute s'accélérant pendant le dernier trimestre. Pour l'étain, sauf une courte phase de reprise vers le milieu de l'année, la faiblesse, puis la chute, caractérisent l'évolution du marché.

Si l'on se reporte au cours des années précédentes, on constate l'évolution suivante :

	Cuivre standard.		Zinc.		Plomb.		Etain.	
	liv.	sh.	liv.	sh.	liv.	sh.	liv.	sh.
1925	61	1	36	3	37	1	261	1
1926	58		34	2	32	9	291	3
1927	55		28	9	25	11	289	1
1928	63	1	25	5	22	9	227	4
1929	75	4	24	2	22	9	203	3

Dans l'ensemble des cinq dernières années, on observe donc un relèvement appréciable des cours du cuivre et une baisse accentuée sur les autres métaux ; mais tandis que celle du zinc et de l'étain s'est aggravée, les cours du plomb paraissent se stabiliser à peu près depuis deux ans.

2. La production. — La production mondiale des métaux, basée sur les chiffres de production des fonderies pour les trois premiers et sur celui des mines pour l'étain, accuse un accroissement notable depuis quatre ans :

Années.	Cuivre.	Zinc.	Plomb.	Etain.
	milliers de tonnes			
1926	1 461	1 235	1 598	147
1927	1 577	1 320	1 671	158
1928	1 693	1 413	1 645	185
1929 (11 mois)	1 839	1 346	1 595	176

Il résulte de ce tableau que la production des fonderies de cuivre, de plomb, de zinc et d'étain a été, pendant les onze premiers mois de 1929, notablement supérieure à la production pendant la même période de 1928. C'est également ce que montre les nombres suivants donnant les moyennes mensuelles de la production des fonderies de cuivre, de plomb et de zinc.

	Cuivre.	Plomb.	Zinc.
Moyenne mensuelle 1928	146,9	138,0	119,0
Moyenne mensuelle 1er semestre 1929	169,2	142,6	122,0
Moyenne mensuelle 10 premiers mois 1929	163,3	146,9	123,3

Cette production est répartie entre continents, pour les dix premiers mois de 1929, comme l'indiquent les nombres ci-dessous :

	Cuivre.	Zinc.	Plomb.	Etain.
	milliers de tonnes métriques			
Amérique	1 316,1	562,2	875,9	38,4
Afrique	125,4	9,8	19,5	10,5
Asie	61,1	18	75,2	104
Australie	8.3	42,9	145	2,2
Europe	149,8	592,6	330,8	4,2

3. La consommation. — La consommation mondiale, au contraire, est en décroissance.

Pour le cuivre, il y a bien eu augmentation de la consommation américaine (788 500 t pour les huit premiers mois de 1929 contre 609 670 t pour la même période de 1928) ; mais la crise financière de la fin de l'année a produit une régression sensible ; en tout cas, l'accroissement de la consommation est inférieur à celui de la production.

En Europe, la réduction des achats de cuivre a été notable. Le caractère artificiel du « boom » créé au début de l'année sur le marché américain a vivement mécontenté les consommateurs européens. Certaines industries tendent à remplacer le cuivre par d'autres métaux (aluminium) chaque fois que cette substitution est possible. Aussi l'exportation américaine du cuivre, qui avait atteint 625 000 t

pendant les onze premiers mois de 1928, est-elle tombée à 550 000 ~ pour la même période de 1929. D'autre part, l'importation totale du cuivre en Europe, qui était de 54 572 t par mois pendant l'année 1928, est descendue à 54 372 t par mois pendant le troisième trimestre de 1929.

Pour le zinc, la moyenne mensuelle des importations européennes qui était de 8625 t en 1928 s'est élevée à 9644 t pour les deux premiers trimestres de 1929, mais est tombée à 7 741 t pour le troisième trimestre.

Pour le plomb, en observe un mouvement inverse des importations européennes : la moyenne mensuelle, qui était de 69 656 t en 1928, s'abaissa à 66 666 t pour le premier semestre de 1929, puis augmenta pendant le troisième trimestre et atteignit 82 693 t en septembre.

4. Les stocks. — De l'augmentation de la production et de la diminution de la consommation est nécessairement résultée une augmentation des stocks.

Les stocks de cuivre raffiné aux Etats-Unis ont passé de 65 460 t fin 1928 à 83 140 t en juin, 104 370 t en août et 126 900 t au début de décembre 1929 et représentent le maximum atteint au cours des trois dernières années. Les stocks d'étain ont augmenté de 4 000 t en 1929, atteignant 27 720 t en décembre. Les stocks de zinc en Amérique ont passé de 45 440 t fin 1928, à 63 000 t au début de décembre 1929; les stocks européens, de 26 000 à 42 000 t. Seuls les stocks de plomb ont diminué considérablement, de 150 000 t environ fin 1928 aux Etats-Unis et au Mexique, à 68 000 en septembre et 62 000 t en novembre.

5. Les ententes des producteurs et leurs effets. — Les résultats peu favorables obtenus en 1929 sur le marché semblent voir mis à l'épreuve le principe de la cartellisation.

Zinc. — Ce principe a enregistré un échec assez éclatant sur le marché de zinc. Non seulement le cartel s'est avéré impuissant à enrayer la baisse des cours, mais il n'a pas eu les moyens d'action nécessaires pous imposer ses décisions aux participants. On sait, en effet, qu'à l'exception de la Belgique, tous les autres producteurs ont forcé leur production, loin de la restreindre. Dans ces conditions, l'échec provisoire du cartel, constaté le 19 novembre dernier, est devenu définitif. La dénonciation pour le 31 décembre 1929 a eu lieu à l'unanimité.

Cet échec semble confirmer ce qu'on avait pu observer lors de l'échec du plan Stevenson : toute entente industrielle qui ne groupe pas un pourcentage suffisamment élevé de producteurs et qui tend néanmoins à réglementer la production ou les prix, se trouve vouée à l'insuccès. Le Cartel du zinc a permis à l'Amérique d'accentuer aux dépens de l'Europe l'avance qu'elle avait déjà sur le marché de ce métal.

Etain. — Il est apparu de même sur le marché de l'étain que, pour se montrer effective, une concentration doit reposer sur des bases très larges. Depuis 1927, sous le contrôle de l'Anglo-Oriental Corporation, les producteurs britanniques groupés dans la Iron Producers Association se sont efforcés de parvenir à une entente avec les entreprises néerlandaises et boliviennes. Jusqu'à présent, ces efforts n'ont obtenu que la coopération de 90 pour 100 des producteurs britanniques. Les groupes néerlandais de Banka et de Billiton, le groupe newyorkais Guggenheim, qui contrôle les gisements d'Aramayo, le groupe Patño en Bolivie, en raison de leurs frais d'exploitation inférieurs à ceux des entreprises stannifères britanniques n'ont aucun intérêt à une cartellisation générale.

Quant aux mesures de restriction adoptées par la Conférence des Producteurs des Etats malais, le 11 décembre dernier, comportant arrêt du travail tous les dimanches et, en outre, un jour de semaine à la fin de chaque période de sept jours de travail au cours des mois de janvier et de février, et, éventuellement, de mars, leur efficacité ne pourra apparaître que d'ici quelques mois.

Cuivre. — La cartellisation a obtenu des résultats plus marqués sur le marché du cuivre. L'organisation repose ici sur des bases beaucoup plus larges que pour les autres métaux, et son action s'exerce depuis trois ans. Néanmoins, elle n'a pu tenir toutes ses promesses. La « pointe » des cours atteinte artificiellement en mars dernier a fait place à un fléchissement du niveau du prix du cuivre standard, qui clôture en 1929 à près de 9 pour 100 au-dessous des cours de fin 1928. Pour le cuivre électrolytique, au contraire, les cours ont pu être portés de 77 à 83 livres par tonne avant la fin du premier semestre, et stabilisés aux environs de ce niveau jusqu'à présent, en sorte que l'écart avec les cours du cuivre standard a été porté cette année de 2,5 à 15 livres, ce qui semble exprimer, de la part des consommateurs, une défiance à l'égard de la politique de la Copper Exporters Inc.

La question est de savoir si les usines de cuivre électrolytique traitant directement leur propre minerai pourraient maintenir longtemps encore des cours aussi élevés, au cas où le ralentissement de la consommation persisterait. Ces sociétés productrices, en effet, se sont engagées vis-à-vis des usines de raffinage traitant du métal usagé, à racheter à celles-ci la plus grosse partie de leur production sur la base du prix courant du cuivre électrolytique. Comme, d'une part, l'utilisation de vieux métal a augmenté de 60 pour 100 et que, d'autre part, la production du cuivre a augmenté de 13,5 pour 100, le poids de la stabilisation des prix retombe de façon croissante sur les sociétés traitant leur propre minerai.

Ce fait suffit à caractériser ce qu'il y a d'artificiel dans la situation du marché du cuivre, qui procure à certains producteurs de gros bénéfices, mais risque de finir par paralyser complètement les affaires.

Il est un second point qui peut amener des modifications sur le marché du cuivre. Le maintien de cours élevés incite les producteurs étrangers au cartel à développer leur production. L'Union minière de Katanga a obtenu pour les dix premiers mois de 1929 une production de 114 000 t contre 93 000 t pour la période correspondante de 1928, et semble vouloir conserver sa liberté d'action vis-à-vis du cartel. Les compagnies minières de Rhodésie viennent de développer un programme d'exploitation, qui prévoit un rapide développement de la production. Celle-ci ne peut être envisagée que grâce à la rentabilité assurée à la production nouvelle par une politique de hauts prix. Mais, par cela même les groupes adhérents au cartel encouragent par leur politique la concurrence de leurs rivaux. Il pourrait se faire, dans un délai assez bref, que la dictature américaine sur ce marché fût battue en brèche.

En tous cas, après les fluctuations de ce marché en 1929, il reste impossible d'établir un pronostic exact de ses perspectives dans un avenir même rapproché.

Plomb. — Aucune cartellisation formelle n'existe entre producteurs de plomb dans le monde. Mais des efforts ont été faits à diverses reprises entre représentants des pays producteurs, hormis l'Amérique, en vue d'établir un contrôle du marché. Un « pool » créé à l'automne dernier entre ces différents producteurs et qui, en Europe en particulier, s'appuie sur la Metallgesellschaft de Francfort, s'efforce surtout d'écarter les sous-offres des producteurs américains. Bien qu'il n'y ait pas une politique arrêtée des prix du

plomb, le niveau moyen s'est établi au-dessus de celui de l'an dernier ou aux environs.

La conséquence est une sorte de renversement des valeurs auquel l'Europe n'était pas accoutumée : les prix du plomb s'établissant au dessus de ceux du zinc.

Si l'on jette un coup d'œil sur la relation de ces deux métaux depuis cinq ans, on observe, en effet, que, depuis l'année 1924 où existait une certaine parité, jusqu'en 1928, les prix du plomb se sont abaissés beaucoup plus vite que ceux du zinc. L'inverse s'est produit en 1929, où le zinc a vivement reculé, tandis que le plomb a à peu près défendu ses cours antérieurs.

Le marché de ce métal pourrait pourtant être affecté en 1930, défavorablement, par la baisse de l'argent-métal survenue au tournant de l'année. Ici non plus ne se manifestent donc guère de tendances à la hausse.

Assemblées générales

Etablissements industriels de E.-C. Grammont et de Alexandre Grammont.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 OCTOBRE 1929.

Le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 112 500 000 fr et dont le siège social est à Paris, 10, rue d'Uzès, s'étend longuement sur les difficultés de trésorerie qui ont entravé le développement normal de la société et qui ont été résolues grâce aux accords conclus avec les Tréfileries et Laminoirs du Havre.

Ce rapport signale tout d'abord que l'exercice avait débuté sous des auspices favorables. L'augmentation de capital de 37 500 000 fr réalisée au début de l'exercice avait permis de parachever l'organisation industrielle de Pont-de-Chéruy et, d'autre part, d'accorder aux filiales de la société, soit sous forme de souscription d'actions, soit sous forme de crédits en comptes courants, les moyens de trésorerie nécessaires à leur développement : à la Société des Téléphones Grammont pour sa participation aux travaux d'installation du téléphone automatique à Paris et à la Société des Lampes Fotos pour l'extension des fabrications de lampes d'éclairage et de radiocommunication « Fotos » et « Radiofotos ».

Parallèlement, la société avait poursuivi l'extension de son organisation commerciale pour la maintenir en harmonie avec ses moyens de production. Notamment elle avait créé de nouvelles agences de représentation et fourni à ses agences anciennes de nouveaux moyens d'action.

« De telles immobilisations, ajoute le rapport, nécessitaient un accroissement considérable des fonds sociaux ; or, pendant le même temps, l'augmentation des prix du cuivre, de la main-d'œuvre, des impôts et des frais de toute nature, nécessitait des ressources nouvelles pour satisfaire aux besoins du fonds de roulement afin de maintenir les approvisionnements en proportion avec les besoins de la clientèle et de consentir à celle-ci les crédits nécessaires. C'est en prévision de tous ces besoins que nous vous avions demandé de nous autoriser à porter progressivement le capital de 75 à 200 millions, ce que vous aviez accepté l'année dernière,

» Le resserrement financier qui s'est produit en France et dans toute l'Europe à la fin de 1928 et qui s'est poursuivi courant 1929 jusqu'au dénouement de la crise américaine, nous a mis dans l'impossibilité de réaliser notre programme de consolidation financière. Nous n'avons pu nous procurer le complément de nos besoins que sous forme de crédits de banques ou de fournisseurs, c'est-à dire sous des formes instables et à des conditions qui, de jour en jour, se faisaient de plus en plus onéreuses.

» Or, nous nous trouvions en concurrence avec des sociétés qui avaient pu financer leurs entreprises par des augmentations de capital réalisées avec des primes de 300 à 400 pour 100 payées par leurs actionnaires qui ont ainsi mis à leur disposition de l'argent à des taux de 1,5 à 2 pour 100 l'an.

» Certains de ces concurrents, inquiets de notre rapide développement, entreprirent contre nous une lutte violente, attaquant non seulement sur le terrain commercial nos produits, mais cherchant à atteindre notre société dans son propre crédit, notamment en faisant une campagne auprès de nos banquiers et de nos principaux fournisseurs. Cette campagne a malheureusement porté et nous nous sommes trouvés dans une situation très critique, nos usines n'étant plus alimentées, nos clients n'étant plus livrés et près de 10 000 ouvriers ou employés se trouvant menacés de chômage

» Une première tentative pour obtenir des fonds sous forme d'augmentation de capital avec le concours d'une maison de banque de la place a échoué, cette société ayant, au dernier moment, montré des exigences excessives : réduction de capital, création de parts en sa faveur, etc.

» Votre conseil a donc été amené à rechercher une autre solution pour mieux sauvegarder l'intérêt des actionnaires et assurer le travail au personnel dont nous avons la charge. Il l'a trouvée sous la forme d'un accord avec nos principaux confrères, les Tréfileries et Laminoirs du Havre, qui possèdent, dans la région parisienne et en Seine-Inférieure, des usines exerçant la même industrie que nous et avec qui nous entretenions des rapports de bonne confraternité depuis la fondation de notre société.

» Ces accords consistent dans la cession, à des conditions raisonnables, d'une partie de notre actif industriel, dans une participation au capital de nos filiales et dans l'octroi d'un concours financier permettant à la société de continuer, dans des conditions normales, l'exploitation des branches conservées.

» L'actif cédé aux Tréfileries et Laminoirs du Havre comprend les usines de Pont-de-Chéruy, de Saint-Tropez, avec leurs dépendances : cités ouvrières, marchandises, fonds de commerce, etc.

» Les marchandises nous sont payées en espèces.

» En ce qui concerne les usines et biens accessoires, nous avions envisagé, avec les Tréfileries et Laminoirs du Havre, leur cession contre la remise de 41 000 actions d'apport, mais nous avons convenu, d'un commun accord, avec nos acquéreurs, de convertir la presque totalité de ce paiement en un paiement en espèces, afin d'obtenir pour notre société les liquidités dont elle avait besoin pour faire face à son passif exigible.

» Les usines et biens accessoires nous sont donc payés 108 millions de francs. Sur cette somme : 36 500 000 fr sont affectés au paiement de notre passif chirographaire ; 13 millions 500 000 fr sont affectés à l'achat de 6 000 actions des Tréfileries et Laminoirs du Havre ; 58 000 000 fr nous sont versés par dix annuités de huit millions correspondant à la

plus grande partie de l'intérêt et de l'amortissement de notre dette obligataire pendant ces dix ans.

» D'autre part les Tréfileries et Laminoirs du Havre s'intéressent au capital de deux de nos filiales en nous achetant : 10 000 actions de la Société des Téléphones Grammont ; 10 000 actions de la Société des Lampes Fotos. Les Tréfileries et Laminoirs du Havre auront deux représentants au conseil de chacune de ces sociétés.

» La société conserve intégralement, outre certaines propriétés immobilières situées aux environs de Pont-de-Chéruy : 1° ses usines de tréfileries d'or et d'argent qui sont la plus ancienne industrie des Etablissements Grammont et qui ont toujours donné des résultats intéressants ; les usines sont situées à Crémieu et à Lyon et occupent entre cinq cents et mille ouvriers suivant les demandes de la clientèle ; 2° les terrains et bâtiments et le matériel de l'usine Radiofotos ainsi que les brevets relatifs à la T. S. F. La Société des Lampes Fotos nous paie l'utilisation de l'ensemble de ces éléments une somme de 1 500 000 fr par an. L'ensemble des biens conservés figure au bilan du 31 mars pour la somme de 40 millions de francs.

» A part les actions cédées aux Tréfileries et Laminoirs du Havre, nous conservons à peu près la totalité du capital de la Société des Téléphones Grammont qui est de 30 millions de francs, en voie d'augmentation à 45 millions, et de la Société des Lampes Fotos qui est de 40 millions de francs. »

Comme le capital de ces dernières sociétés représente la part la plus importante de l'actif des Etablissements industriels de E.-C. Grammont et de Alexandre Grammont, le rapport du conseil d'administration fournit des explications étendues sur leur situation présente, qui est des plus prospères.

« La Société des Téléphones Grammont a pris une très grande place dans la construction du téléphone automatique à Paris ; elle va prochainement livrer à l'Administration, en avance de trois mois sur les délais prévus, le bureau Danton dont la valeur représente 30 millions de francs. Son programme consiste à construire annuellement un bureau de cette importance. Elle fait, en outre, des affaires très nombreuses en téléphonie privée, et en postes de réseaux. Elle prendra également une part importante dans les affaires d'automatique rural dont les premières commandes vont être passées incessamment et pour lequel un budget spécial est prévu chaque année. Nous avons, en effet, acquis, en Allemagne, des procédés techniques qui placent à cet égard notre fabrication en excellente posture.

» La Société des Lampes Fotos, exploite trois usines dont deux lui appartiennent et la troisième, Radiofotos, est mise à sa disposition par les Etablissements Grammont.

» La plus importante de ces usines est installée dans les anciennes usines de Maljournal et Bourron où nous avons aménagé une fabrique de lampes d'éclairage d'une capacité de 10 millions de lampes par an, alors qu'avant 1929 la capacité de notre société ne dépassait pas 3 millions. Cette usine est installée avec du matériel moderne et automatique et sa fabrication est actuellement parfaitement au point.

» Notre ancienne usine de lampes du Belvédère est affectée désormais à la fabrication des lampes « Radio » dont la vente s'accroît rapidement ; nos nouvelles lampes, mises sur le marché depuis octobre, sont excellentes et peuvent rivaliser avec celles des grandes marques comme Philips, Métal, etc. La capacité de l'usine du Belvédère est de plus d'un million de lampes « Radio » par an.

» L'usine de Givors est une usine de verrerie, qui fabrique les ampoules et la cristallerie nécessaire à la fabrication des lampes.

» Les Etablissements Grammont ayant conservé leur organisation commerciale et leurs agences et s'étant assuré des contrats de représentation avec la Société Le Matériel électrique S. W. pour le matériel des Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné et avec les Tréfileries et Laminoirs du Havre pour les câbles Grammont maintiennent leur capacité commerciale. La Société des Lampes Fotos est donc assurée d'un écoulement facile de sa production. »

Le rapport du conseil d'administration donne encore quelques renseignements sur quelques autres filiales : la Société des Porcelaines et Appareillages E. Grammont, au capital de 15 millions de francs, qui exploite les usines d'Erome (porcelaine pour haute tension), de Sault-Brenaz (marbres), de Limoges (porcelaine pour basse tension) et une partie de l'usine Maljournal et Bourron ; la Manufacture lyonnaise de Filés d'or et d'argent, société au capital de 12 millions de francs ; les Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné.

« L'important remaniement que nous venons d'effectuer et dont nous vous avons rendu compte, écrit ensuite le conseil d'administration, oriente la Société des Etablissements Grammont dans une voie un peu nouvelle : la société mère devient une sorte de « holding » possédant des actions des Tréfileries et Laminoirs du Havre et des sociétés filiales, mais nous tenons à préciser que toutes les sociétés filiales sont unies par une même direction technique et commerciale et continuent de former un ensemble important dans l'industrie électrique. »

Le crédit du compte de profits et pertes est, d'après l'inventaire, de 23 667 317,19 fr. Le débit s'élève à 29 millions 160 370,37 fr. La perte de l'exercice est donc de 5 millions 493 053,18 fr.

BILAN AU 31 MARS 1929.

Actif.

	fr
Immobilisations	149 770 161,26
Frais d'émission et prime de remboursement	14 231 484,35
Participations industrielles	87 170 649 »
Caisses, banques et portefeuille effets	11 287 668,21
Débiteurs divers	34 453 564,93
Comptes courants filiales	54 457 008,57
Marchandises en cours de route	6 596 309,55
Marchandises en magasins	32 039 475,02
Approvisionnements des ateliers	24 271 442,23
Produits finis	27 193 710,65
Pour balance	5 493 053,18
	446 964 526,95

Passif.

	fr
Capital	112 500 000 »
Réserve légale	1 586 234,80
Amortissements et réserves	36 851 323,76
Bons et obligations	113 841 875 »
Fournisseurs et divers	152 277 687,89
Comptes courants filiales	27 650 347,27
Report exercice antérieur	2 257 058,23
	446 964 526,95

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour de Cassation relatif à la propriété d'une marque de fabrique étrangère utilisée pendant la guerre par une maison française.

L'extrait ci-dessous d'un arrêt rendu par la Chambre des Requêtes de la Cour de Cassation, le 26 novembre 1929, à la suite d'un pourvoi contre un arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 24 juillet 1928, établit : que les actes de contrefaçon de marques autrichiennes régulièrement déposées, qui eussent été illicites si la guerre n'avait pas existé, sont couverts par l'article 261 du Traité de Saint-Germain, contre toute revendication des propriétaires de la marque ; qu'ils demeurent valables et conservent leurs pleins effets dans les contrats dont ils ont été l'objet ; mais que le droit de propriété industrielle a été restauré par ce même traité et que ces actes, bien qu'ainsi couverts, ne sauraient y avoir porté atteinte ; il s'ensuit que l'usage pendant la guerre de la dénomination d'une marque autrichienne n'a pas eu pour conséquence de la faire tomber dans le domaine public et que celui qui continue à en faire usage après la mise en vigueur du Traité de Saint-Germain est à bon droit condamné pour contrefaçon de cette marque.

Voici le texte de cet arrêt.

La Cour ;

Sur le premier moyen pris de la violation, par fausse application, des articles 237, 258, §§ 1 et 2, 259 et 261 du Traité de Saint-Germain, du 10 septembre 1919, des règles régissant la remise en vigueur des conventions internationales relatives à la protection de la propriété industrielle et aussi de la violation de l'article 7 de la loi du 20 avril 1810, pour défaut de motifs et manque de base légale ;

Attendu que la société autrichienne Rich et Klinger exploite un produit composé de caoutchouc et d'amiante, sous la marque de fabrique « La Klingérite » déposée en France le 13 janvier 1900, à Vienne le 25 novembre 1914 et au Bureau international de Berne le 17 novembre 1916 ; que ses droits de propriété industrielle, fondés sur la Convention internationale de Berne et les Arrangements de Madrid du 14 avril 1891, révisés le 2 juin 1911 et remis en vigueur par l'article 237 du Traité de Saint-Germain, ayant été rétablis par l'article 258 du même traité, la société a poursuivi Laski en contrefaçon de sa marque ; qu'il est fait grief à l'arrêt attaqué d'avoir accueilli cette demande, en interdisant à Laski, sous astreintes, d'user à l'avenir de la dénomination « La Klingérite » et en le condamnant à des dommages-intérêts, alors que, d'après le pourvoi, la marque litigieuse devrait être considérée comme tombée dans le domaine public, le demandeur n'ayant pas cessé, pendant toute la durée des hostilités, d'utiliser cette dénomination, avec l'assentiment des ministres français de la Guerre et de la Marine, qui, dans leurs demandes de fournitures, leurs marchés et leurs adjudications, se servaient couramment, dans un sens purement générique, des expressions « Klingérite » ou « genre Klingérite », et alors, d'autre part, que cette situation serait consacrée par l'alinéa 2 de l'article 258 du Traité de Saint-Germain, aux termes duquel « les actes faits en vertu des mesures spéciales qui auraient été prises, pendant la guerre, par une autorité administrative ou exécutive, à l'égard des droits des ressortissants de l'ancien empire autrichien, en matière de propriété industrielle, demeurent valables et continuent à avoir leurs pleins effets » ;

Mais attendu que ce texte, comme l'a dit justement l'arrêt attaqué, ne vise que les actes de contrefaçon qui eussent été illicites, si la guerre n'avait pas existé ; que de tels actes, effectués sous la pression des besoins de la défense nationale, sont couverts par l'article 261 du Traité de Saint-Germain contre toute revendication des propriétaires de la marque ; qu'ils demeurent donc valables et conservent leurs pleins effets dans les contrats dont ils ont été l'objet, mais que rien n'autorise à penser que les Hautes parties contractantes aient voulu étendre ces effets au droit même de propriété industrielle qui était restauré par le même traité ; d'où il suit que l'arrêt a pu, sans violer aucune disposition légale, décider que les droits de la Société Rich et Klinger sur la marque « La Klingérite » avait été régulièrement rétabli en France, à partir de la mise en vigueur du Traité de Saint-Germain et condamner Laski pour des faits de contrefaçon postérieurs à cette date ;

Par ces motifs, rejette.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant le délai-congé.

On sait qu'une loi, en date du 19 juillet 1928 (1), stipule que la durée du délai-congé est fixée en conformité des usages pratiqués dans la localité ; on y lit, en outre, que « toute clause d'un contrat individuel ou d'un règlement d'atelier fixant un délai-congé inférieur à celui qui est établi par les usages ou les conventions collectives est nulle de plein droit ».

Mais la loi du 19 juillet 1928 n'est pas applicable, dans le cas d'un louage de services à l'essai, pour la période d'essai ; dès lors un employé, engagé pour une période d'essai de trois mois, peut, au cours de cette période, être, conformément aux conditions du contrat, congédié sans qu'il y ait lieu à l'observation du délai-congé résultant des usages locaux. C'est ce qui résulte de l'arrêt suivant, en date du 19 novembre 1929, de la Chambre civile de la Cour de Cassation rejetant le pourvoi contre un jugement du Tribunal départemental du Puy-de-Dôme du 6 mai 1929.

La Cour ;

Sur le moyen unique ;

Attendu que par acte sous seings privés en date du 15 septembre 1928, B... a été engagé en qualité d'employé par la Société Michelin et Cie « pour une période d'essai d'au moins trois mois » ; qu'il était stipulé que pendant cette période et jusqu'à la signature des accords définitifs, chaque partie pourrait rompre le contrat à son gré et sans préavis ; qu'il était enfin précisé « que les conditions d'essai

(1) Loi modifiant l'article 23 du livre premier du Code du Travail et de la Prévoyance sociale. *Revue générale de l'Electricité*, 11 août 1928, t. XXIV, p. 232.

prendraient fin le jour où la société notifierait sa décision à B... » ;

Attendu que ce dernier a été congédié pour incapacité, par lettre recommandée du 11 décembre 1928;

Attendu que le pourvoi reproche au jugement attaqué d'avoir, en violation des prescriptions de la loi du 19 juillet 1928, repoussé la demande de cet employé tendant à l'allocation d'une indemnité pour inobservation du délai-congé d'un mois fixé par l'usage local;

Mais attendu que la loi précitée, qui ne vise que « le louage de services fait sans détermination de durée » n'était pas applicable pendant le délai minimum de trois mois fixé pour l'épreuve à laquelle B... avait consenti à se soumettre; que, d'autre part, le jugement attaqué déclare que le chef d'entreprise a procédé loyalement à l'essai et qu'il n'est pas démontré que la clause dispensant les parties de l'obligation du préavis ait été insérée pour dissimuler, en fraude de la loi, un contrat de travail définitif sous le couvert d'un engagement à l'essai;

Attendu, dès lors, que la cause dont s'agit, n'aurait pu être arguée de nullité qu'au cas où le contrat n'étant pas rompu avant le 15 décembre, elle aurait eu pour effet de priver l'employé, pour la période subséquente, du droit à un délai-congé résultant des usages locaux; d'où il suit qu'en statuant comme il l'a fait, le jugement attaqué, abstraction faite de motifs surabondants, n'a pas violé le texte visé au pourvoi;

Par ces motifs, rejette.

Sur la taxe à laquelle sont soumises les cessions de parts lors de la transformation d'une société en nom collectif en société à responsabilité limitée.

Le « Journal officiel » du 21 décembre 1929 publie, page 4 542 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

5537. — M. Baudoin-Bugnet demande à M. le ministre des Finances si la transformation d'une société en nom collectif en société à responsabilité limitée doit ou non être assimilée à une constitution de société, au point de vue de l'application de l'article 24 de la loi de finances du 30 décembre 1928. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — Question d'espèce ne pouvant être exactement résolue qu'au vu des actes eux-mêmes et après examen des circonstances particulières de l'affaire. En principe, si la transformation de la société en nom collectif en une société à responsabilité limitée n'a pas opéré la dissolution de la société originaire et la création d'une société nouvelle et si, par ailleurs, aucun des apports en nature faits à la société ne remonte à moins de deux ans, le droit de 1,08 pour 100, décimes compris, est seul applicable aux cessions de parts de la société à responsabilité limitée ; dans le cas contraire, la cession de ces parts est soumise aux dispositions de l'article 24 de la loi du 30 décembre 1928.

Sur les droits qu'ont les entrepreneurs étrangers de travailler pour les administrations publiques.

Le « Journal officiel » du 30 décembre 1929 publie, page 4857 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

5425. — M. Maurice Robert demande à M. le ministre du Travail si les entrepreneurs étrangers ont le droit de travailler pour les administrations publiques ou si une loi les écarte de ces travaux. (Question du 26 juillet 1929.)

Réponse. — Il n'existe en France aucune loi enlevant d'une manière générale aux étrangers le droit de travailler pour les administrations de l'Etat. Cependant dans le cas où ces travaux intéressent la défense nationale (Ministère de la Guerre, Ministère de la Marine et, dans certains cas exceptionnels, Ministère des Travaux publics), une autorisation spéciale du ministre intéressé est nécessaire pour les étrangers. Il est à signaler qu'en matière de travaux publics exécutés par voie de concession, la jurisprudence du Conseil d'Etat est fixée en ce sens qu'au concessionnaire, s'il est étranger, doit se substituer une société anonyme dont le conseil d'administration est composé d'une majorité de citoyens français et dont les actions sont en majorité aux mains de porteurs français.

Sur le régime administratif de la radiodiffusion.

Le « Journal officiel » du 18 janvier 1930 publie, page 48 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent :

6934. — M. André Barbier demande à M. le ministre des Postes et Télégraphes : 1° pour quelles raisons les postes d'Etat de radiodiffusion sont confiés à des associations de personnes qui, au lieu d'avoir été choisies par l'autorité responsable se sont recrutées elles-mêmes et qui profitent de leur situation pour faire de la propagande contre les initiatives du gouvernement en matière de radiodiffusion; 2° quel est le régime de ces associations; 3° si elles ont le droit de se fédérer; 4° pour quelle durée la gérance des postes d'Etat leur ont été confiée. (Question du 27 décembre 1929.)

Réponse. — 1° et 2° l'article 14 du décret du 28 décembre 1926 stipule que la composition et la réalisation des programmes des stations d'Etat de radiodiffusion sont confiées à des groupements ou collectivités, dotés de la personnalité civile; 3° ces groupements ou collectivités ont cru devoir se constituer en association sous le régime de la loi du 1er juillet 1901; ces associations se sont elles-mêmes groupées en fédération dite « fédération nationale de radiodiffusion »; 4° lesdites associations n'ont pas la gérance des postes d'Etat de radiodiffusion; elles sont simplement chargées, comme il est dit ci-dessus, de la composition et de la réalisation des programmes pour une durée indéterminée.

6935. — M. André Barbier expose à M. le ministre des Postes et des Télégraphes : *a*) que le poste des Postes, Télégraphes et Téléphones de Paris donne la plupart de ses émissions artistiques sous le patronage d'une association spéciale d'auditeurs, ce qui constitue un privilège pour celle-ci; *b*) que chaque semaine, les programmes des émissions radiophoniques des postes de l'Etat des Postes, Télégraphes et Téléphones publient les noms et adresses de journaux techniques auxquels ils font ainsi une large publicité sur le territoire français et à l'étranger; et demande : 1° si toute association peut être admise à faire des émissions artistiques; 2° dans l'affirmative, à quelles conditions; 3° pour maintenir un régime d'impartialité et d'égalité entre les journaux, quelles règles président à la publicité faite par les postes des Postes, Télégraphes et Téléphones. (Question du 27 décembre 1929.)

Réponse. — 1° et 2° L'association constituée auprès du poste de l'Ecole supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones, en vertu de l'article 14 du décret du 28 décembre 1926, est chargée de la composition et de la réalisation des programmes de cette station. A ces fins, elle accepte le concours d'associations et de groupements professionnels et économiques si ces concours sont de nature à servir l'intérêt général des auditeurs de la radiodiffusion; 3° lorsque des journaux apportent leur concours financier à l'exécution des programmes des stations des Postes, Télégraphes et Téléphones, dans les conditions fixées ci-dessus, il en est fait mention au cours des émissions.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique Français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 10. — 8 MARS 1930.

Chronique. — Société française des Electriciens : Séance du 1er mars 1930, p. 353. — A propos des quadripôles et filtres, p. 354. — Bibliographie : Les services de l'entreprise, par un groupe de techniciens sous la direction de Gaston RAVISSE, p. 354; Eléments de mécanique rationnelle, par Percey-F. SMITH et William-Raymond LONGLEY, p. 354.

Section scientifique et technique. — Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne, par Joseph-Maxime PESTARINI, p. 355. — Revues, analyses et informations : Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe, p. 366; Calcul des caractéristiques et des dimensions des triodes, p. 367; Propriétés magnétiques des couches minces de nickel et de fer déposées sur supports métalliques, p. 368; Les propriétés des tôles magnétiques, p. 369; Oscillations électroniques, p. 370; Utilisation des très hauts potentiels à l'alimentation des tubes à vide, p. 370.

Section industrielle. — Les nouvelles stations de radiodiffusion françaises d'Alger et de Strasbourg-Brumath, par Michel ADAM, p. 371. — Revues, analyses et informations : Excitation des transformateurs de courant en période transitoire, p. 382; Le couple des machines synchrones non munies d'enroulements amortisseurs, durant les courts-circuits, p. 383;

Section économique et financière. — Exportations et importations de matériel électrique de la Grande-Bretagne en l'année 1929, p. 385. — Assemblées générales : Société des Forces motrices de l'Ariège, p. 387.

Section de législation. — La recevabilité du recours pour excès de pouvoir entre dans une nouvelle phase (Arrêt du Conseil d'Etat du 10 janvier 1930), par Paul BOUGAULT, p. 389. — Législation, jurisprudence, réglementation : Loi abrogeant le paraphe et le visa annuel du livre journal et du livre des inventaires prescrits par l'article 10 du Code de Commerce, p. 391; Arrêt de la Cour de Cassation concernant le versement des indemnités dues pour accidents du travail, p 391; Arrêt de la Cour de Cassation concernant la législation sur les accidents du travail, p. 392; Sur le droit qu'ont les locataires d'effectuer des installations électriques dans les lieux loués, p. 392; Sur le mode d'imposition applicable aux gérants des sociétés à responsabilité limitée, p. 392.

Société française des Electriciens : Séance du 1er mars 1930. — Au cours de cette séance ont été présentées deux communications, la première intitulée *Présentation des nouveaux oscillographes de M. Blondel et de leurs applications*, par M. VASSILLIÈRE-ARLHAC; la seconde communication, présentée par M. GASQUET, était intitulée *Les applications de la traction électrique aux poids lourds.*

1. COMMUNICATION DE M. VASSILLIÈRE-ARLHAC. — Le conférencier a exposé l'historique de l'oscillographe dont la théorie et les premières réalisations furent présentées en 1892 par M. Blondel, dont il rappela les principaux travaux : déformations des ondes de courant dans les alternateurs; inscription de la parole; fonctionnement des disjoncteurs; arc chantant; émissions par étincelles musicales en télégraphie sans fil; phénomènes acoustiques; oscillographe utilisé en analyse harmonique; redressement des courants alternatifs par l'arc; enregistrement des surtensions, etc.

Ce sujet devant faire l'objet d'un article qui sera publié prochainement dans cette revue, nous n'insisterons pas davantage sur cette communication.

En terminant, le conférencier a présenté le nouvel oscillographe portatif de M. Blondel et il a indiqué les avantages et les applications de cet appareil.

2. COMMUNICATION DE M. GASQUET. — L'auteur rappelle qu'il y a deux ans environ, dans une série de conférences organisées par la Société pour le Développement des Véhicules électriques, il avait cru devoir insister surtout sur l'application de la traction électrique aux chariots (1), réservant son opinion au sujet de son application aux camions et aux camionnettes. A cette époque, on pouvait en effet douter de la mise au point de ces derniers véhicules, leurs qualités mécaniques inspirant encore quelques inquiétudes. Aujourd'hui la situation s'est modifiée, car de sérieuses références peuvent être citées concernant le développement de la traction électrique pour les véhicules à poids lourds. Bien entendu, les véhicules à accumulateurs ont un champ d'application différent de celui des véhicules thermiques, qui ont des qualités particulières les rendant indispensables dans un grand nombre de cas. Chaque problème de transport doit donc être étudié spécialement.

Les avantages particuliers de la traction à accumulateurs sont : la réduction des frais d'exploitation; la rapidité sur les parcours limités et à fréquents arrêts; la facilité de réparation; la robustesse, la sécurité et la durée de service. D'autre part, ces véhicules sont particulièrement hygiéniques grâce à leur fonctionnement doux et inodore; ils sont faciles à conduire et à garer; le réglage de la

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 28 janvier 1928, t XXIII, p. 154.

vitesse est très satisfaisant. Enfin les risques d'incendie sont très réduits et les frais d'entretien peu élevés.

Actuellement, il existe 20 000 de ces véhicules à accumulateurs en service aux Etats-Unis et leur emploi s'étend de plus en plus rapidement en Allemagne, en Grande-Bretagne et en Italie. Parmi les références particulièrement importantes en France, le conférencier rappelle la Société lyonnaise d'Exploitation des Véhicules électriques (S. L. E. V. E.), qui doit bientôt utiliser 120 de ces véhicules.

Les applications particulièrement intéressantes des véhicules électriques sont les suivantes : entreprises de camionnage, entreprises de déménagement, transport de charbon et de coke (Société du Gaz de Paris et Compagnie du Gaz de Lyon), transport des matériaux de construction, brasseries, transport de produits alimentaires (avantages au point de vue hygiénique), camionnage des chemins de fer (Compagnie de l'Est, à Paris et à Reims), service de la poste (en Allemagne, il existe 2 000 véhicules utilisés par l'Administration des Postes et Télégraphes), entreprises de vidange, ordures ménagères (services municipaux), pompes funèbres (à Milan), et services de livraison des grands magasins.

Au cours de la séance, des projections ont illustré les applications réalisées dans divers pays; de plus, un camion SOVEL, de 12 m³, destiné au service de nettoiement de la ville de Rueil a été présenté à la sortie de la réunion. — R. L.

A propos des quadripôles et filtres. — A la suite de la publication dans cette revue d'un récent article de M. J.-B. Pomey (1), nous recevons de M. A. Auric, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, une note dont nous reproduisons ci-après les termes :

Dans cette étude, M. Pomey fait remarquer, après les nombreux savants qui se sont occupés de cette question, qu'il est préférable, au point de vue théorique, de n'introduire ni la tension v, ni l'intensité de courant i, mais bien leur rapport, c'est-à-dire l'impédance $z = \frac{v}{i}$.

Comme, pour donner à l'étude toute sa généralité, on est obligé de se placer dans le domaine des quantités complexes de la forme $a + b\sqrt{-1}$, le résultat rappelé par M. Pomey se comprend aisément. En effet, les quantités complexes i, v, considérées isolément dépendent évidemment de la direction donnée à l'axe origine des angles, laquelle direction est entièrement arbitraire ; au contraire, le rapport $z = \frac{v}{i}$ ne dépend que de l'angle formé par les deux vecteurs et reste invariant quelle que soit la direction de l'axe d'origine.

On obtiendrait un invariant encore plus général en considérant le rapport anharmonique qui est, comme on sait, un rapport de deux rapports.

Bibliographie : Les services de l'entreprise, (2) par un groupe de techniciens sous la direction de Gaston Ravisse. — Cet ouvrage est la reproduction des conférences ayant constitué l'enseignement de la Semaine d'Organisation commerciale de 1928.

L'ensemble de ces conférences forme un tout intitulé « Les services de l'entreprise » et constitue une étude de l'entreprise qu'on suppose divisée en ses éléments constitutifs, ou services; on arrive ainsi à une compréhension plus complète et plus parfaite de l'ensemble.

A la fois scientifique par sa méthode et pratique par les réalisations et les systèmes proposés, ce livre s'adresse à des hommes d'affaires plus préoccupés de renseignements précis que de théorie. Il intéresse autant les grandes entreprises ayant un nombreux personnel et des chefs de services dont les fonctions sont bien distinctes, que la petite et moyenne industrie, le petit et le moyen commerce, car toutes les fonctions des services s'y accomplissent, quoique ceux-ci n'apparaissent pas du premier coup à l'observateur, avec leur individualité propre.

Le mot « service » est pris ici dans le sens de l'exercice d'une fonction. L'ouvrage montre comment dans chacune de ces fonctions s'appliquent les méthodes modernes du travail de bureau. Les différents services y sont énumérés et décrits en détail, l'élaboration de chacun ayant été confiée à un spécialiste.

Les services de l'entreprise, leurs liaisons, le secrétariat général et le secrétariat particulier ont été décrits par J. Wilbois; le service de classement, par G. Ravisse; le service de documentation, par Charlotte-B. Thumen; le service du personnel, par M. Ponthière; la rémunération du personnel, par J. Chevalier; le service des achats, par Thérèse Leroy; le service des commandes, par G. Ravisse; le service du magasin, par L. Barreau; le service d'emballage et d'expédition, par M. Rachinel; le service de publicité, par J. Bonherbe; le service de vente, par F. Elvinger; les services de préparation technique et de contrôle entourant les ateliers, par le lieutenant-colonel Rimailho; le service du contentieux par Me Jean Letort; le service des factures, par Marcel Renard; le service de la comptabilité, par Gabriel Faure. — I. F.

Bibliographie : Eléments de mécanique rationnelle, par Percey-F. Smith et William Raymond Longley (1). — Cet ouvrage, bien que d'un caractère relativement élémentaire, est cependant très complet et sera d'une grande utilité aux élèves de l'enseignement supérieur; tous les éléments de la mécanique rationnelle y sont étudiés clairement. Les théorèmes, leurs démonstrations et leurs discussions sont accompagnés de figures explicatives et d'exemples numériques faisant l'objet d'un grand nombre de problèmes qui peuvent se présenter dans l'étude et dans les applications de la mécanique rationnelle.

Les divers chapitres en lesquels se divise ce volume concernent les moments de masse et d'inertie, la cinématique du point, les mouvements rectiligne et curviligne, la cinématique d'un point matériel, le travail, l'énergie et l'impulsion, le mouvement d'un point dans un champ constant, les forces centrales, le champ harmonique, le mouvement dans un milieu résistant, l'énergie potentielle, les systèmes de points matériels, la dynamique d'un point rigide et enfin l'équilibre des forces coplanaires. Le volume se termine par un recueil des formules les plus indispensables de géométrie analytique et d'analyse mathématique. — I. F.

(1) J.-B. Pomey ; Quadripôles et filtres. *Revue générale de l'Électricité* 15 février 1930, t. XXVII, p. 235-242.

(2) Un volume format 14 cm × 15 cm, de 396 pages, édité par la Librairie française de Documentation commerciale et industrielle Ed. Langlois et Cie. Prix : broché, 50 fr.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 320 pages, avec 237 figures dans le texte, édité par la librairie Vuibert, 63, boulevard Saint-Germain, à Paris (5e). Prix : broché, 42 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne

M. Pestarini donne le nom de « métadyne » à une catégorie de machines à courant continu à collecteur; elles ont fait l'objet d'un mémoire présenté au concours de la Fondation George Monfiore et qui, comme nous l'avons annoncé (*), a été couronné par le jury en septembre 1929. Dans l'article qui suit est reproduite la partie de ce mémoire relative à la théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne, c'est-à-dire en régime permanent. Considérant le cas le plus général d'une machine comportant un rotor muni de plusieurs enroulements et collecteurs, machine dont la dynamo constituerait un cas particulier, l'auteur examine quelques solutions bien définies dans lesquelles la machine peut transformer soit de l'énergie électrique en énergie électrique, soit de l'énergie électrique en énergie mécanique ou encore, inversement, de l'énergie mécanique en énergie électrique. L'étude détaillée des modes de montage envisagés lui permet de préciser les conditions de fonctionnement dans chacun de ces cas et montre tout le parti que l'on peut tirer d'une généralisation du genre de celle entreprise ici et se traduisant par la conception de la métadyne.

I. Définitions et considérations générales. —

1. Définition des cycles. — La machine dont il est question dans cette étude comporte en général un rotor muni d'un ou de plusieurs enroulements connectés à des collecteurs, comme dans les machines dynamos, entouré par un stator qui comporte lui aussi, le plus souvent, des enroulements. La machine peut éventuellement être divisée en plusieurs segments, dont p est le nombre, égaux entre eux par leurs dimensions, la disposition des organes et leur fonctionnement; nous dirons alors que la machine a p cycles. Pour simplifier nous ne considérerons que le cas d'un seul cycle, sauf stipulation contraire.

2. Conception du rotor a nombre quelconque de balais. — Le principe de la métadyne consiste dans l'adoption d'un nombre quelconque de balais, en général plus de deux, par cycle. Avec deux balais par cycle on a une dynamo ordinaire; la définition qui sera donnée plus bas de la métadyne englobe toute une catégorie de machines dont la dynamo n'est qu'un cas particulier; néanmoins une métadyne ne sera appelée ainsi que si elle comporte au moins trois balais par cycle.

Un balai, fixe dans l'espace, ferme en court-circuit un certain nombre de sections dont les conducteurs actifs occupent soit un segment de l'entrefer (enroulements en anneau), soit plusieurs segments (enroulements en tambour); ces segments oscillent dans l'espace et la période fondamentale de cette oscillation est égale au temps que met le rotor à tourner d'un angle correspondant au pas d'encoche (1); nous appellerons « plage de commutation » l'ensemble de toutes les positions occupées par ce segment pendant son oscillation, et « axe de commutation » le rayon bissecteur de la plage de commutation.

Nous simplifierons cette étude en nous limitant aux cas où à un balai correspond un seul axe de commutation (enroulement à anneau Gramme) ou deux axes de commutation (enroulement imbriqué en tambour), le sens de l'enroulement étant toujours supposé dextrorsum.

Dans les schémas qui suivront, nous représenterons un enroulement rotorique par une circonférence de cercle sur laquelle nous placerons les balais à l'intersection de cette circonférence avec un axe de commutation correspondant, de sorte que, pour rencontrer le deuxième axe de commutation, s'il existe, il faudra se déplacer dans le sens dextrorsum d'une quantité égale au pas de l'enroulement. On dira que le pas est « diamétral » s'il embrasse un demi-cycle; s'il est différent d'un demi-cycle, le pas est « fractionnaire ».

Dans le cas de l'anneau Gramme, on a toujours autant d'axes de commutation que de balais. Dans le cas du tambour imbriqué il y a en général deux fois plus d'axes de commutation que de lignes de balais; mais il se peut que le même rayon soit l'axe de commutation correspondant à deux balais, ce qui réduit alors le nombre d'axes de commutation; le nombre minimum d'axes de commutation est égal à celui des lignes de balais. Pour que ce dernier cas ait lieu, il faut que les balais soient tous équidistants.

3. Premier mode de réalisation; élimination de l'action statorique sur la plage de commutation. — Un enroulement statorique a pour but d'induire une force électromotrice dans un segment, soit le segment a b (fig. 1), des enroulements rotoriques. La disposition la plus appropriée de l'enroulement statorique en question est alors

(*) *Revue générale de l'Électricité*, 23 novembre 1929, t. XXIV, p. 810.

(1) Pour simplifier, nous ne considérerons pas les enroulements à conducteurs « morts ».

celle d'une bobine qui embrasse le segment statorique correspondant. Si le segment ab comprend des axes de commutation, les ampères-tours de la bobine statorique agissent sur la commutation des balais correspondant à ces axes et, en général, ils rendent la commutation impossible. Le procédé que nous allons décrire surmonte cette difficulté capitale.

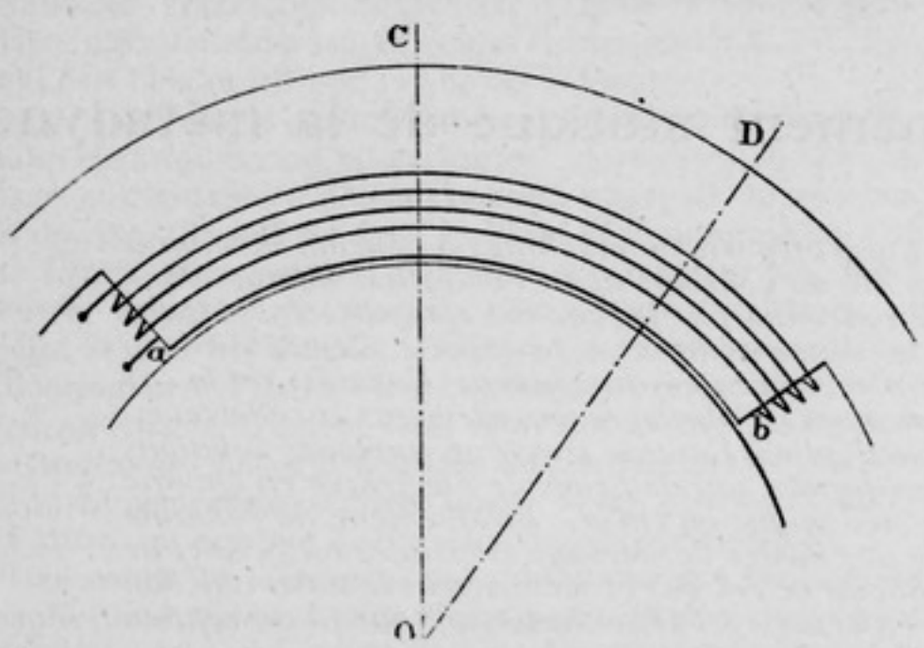


Fig. 1. — Schéma d'une bobine statorique à laquelle correspondent deux axes de commutation et dont la disposition rend la commutation impossible.

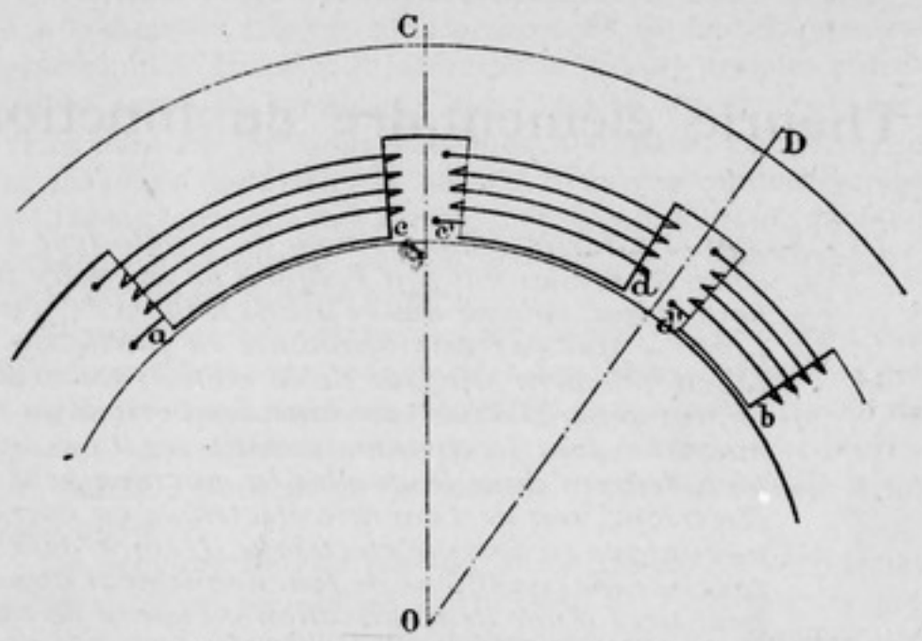


Fig. 2. — Schéma du premier mode de réalisation par élimination de l'action statorique sur la plage de commutation.

Premier procédé. — Si le segment embrassé par la bobine statorique comprend des axes de commutation, on subdivise le segment statorique et la bobine en autant de segments élémentaires et de bobines élémentaires qu'il y a d'axes de commutation plus un, laissant ainsi les plages de commutation correspondantes découvertes. Les ampères-tours des bobines élémentaires et ceux de la bobine unique primitive sont égaux.

La figure 1 représente une partie de la machine, le segment ab induisant une force électromotrice grâce à la bobine unique qui l'entoure. Ce segment comprend deux axes de commutation OC et OD, où la commutation est alors en général impossible.

En figure 2 est représenté le mode de réalisation énoncé ci-dessus; le segment ab est divisé en trois segments élémentaires a c, c' d, d'b, et la bobine primitive, en trois bobines élémentaires avec le même nombre d'ampères-tours. On a ainsi dégagé les plages de commutation correspondant aux axes OC et OD; elles sont hors du champ magnétique dû à l'enroulement statorique (1).

4. Définition de la métadyne. — Ces considérations permettent de définir la métadyne : celle-ci est une machine à collecteurs à un nombre quelconque de balais par cycle, dont le stator comporte autant de segments polaires qu'il y a d'axes de commutation distincts et dont les bobines statoriques qui induisent une force électromotrice entre les balais n'embrassent qu'un seul segment polaire, les plages de commutation restant ainsi découvertes. Il y a des cas exceptionnels où des bobines statoriques créant une force électromotrice induite entre balais peuvent se confondre avec les bobines d'excitation des pôles de commutation; dans ce cas la même bobine peut embrasser plus d'un segment polaire.

La dynamo ordinaire serait donc une métadyne à deux balais par cycle et deux (ou quatre) axes de commutation.

Nous appellerons enfin « pseudométadyne » une machine qui se déduit d'une métadyne quand on n'applique pas le mode de réalisation défini ci-dessus.

5. Symboles et hypothèses. — Les schémas de connexions qu'on réalise avec une métadyne sont bien plus variés qu'avec une dynamo et pour la simplicité des figures et la rapidité de leur interprétation nous conviendrons de simplifier de la façon suivante les symboles que nous emploierons :

1° Nous supposerons que les balais sont fixes et que les collecteurs tournent dans le sens dextrorsum; il est très facile d'appliquer les résultats au cas des balais tournants;

2° Nous représenterons les axes de commutation par des rayons en traits ponctués et ceux qui correspondent au balai a seront indiqués par O a, O a', O a'', etc.; toutefois comme nous nous limiterons à l'enroulement de l'anneau Gramme et à l'enroulement en tambour imbriqué, l'un et l'autre dans le sens dextrorsum, on aura soit un seul axe de commutation O a, soit deux axes, O a et O a';

3° Nous désignerons les balais par des lettres minuscules et les bornes auxquelles aboutissent les conducteurs connectés aux balais après avoir parcouru éventuellement des enroulements statoriques d'excitation, par les lettres majuscules correspondantes; nous les

(1) On peut aussi remplacer les trois bobines élémentaires de forme ordinaire par une seule bobine de forme complexe telle qu'elle n'exerce plus aucune action sur les plages de commutation.

figurerons par des points carrés (comme indiqué sur la figure 3 qui représente une métadyne à deux balais, à enroulement en tambour à pas fractionnaire);

4° Nous indiquerons l'ensemble de toutes les bobines qui entourent un segment polaire statorique par une seule ligne brisée et nous désignerons cet ensemble par le symbole S_A si le segment polaire est immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa; le même

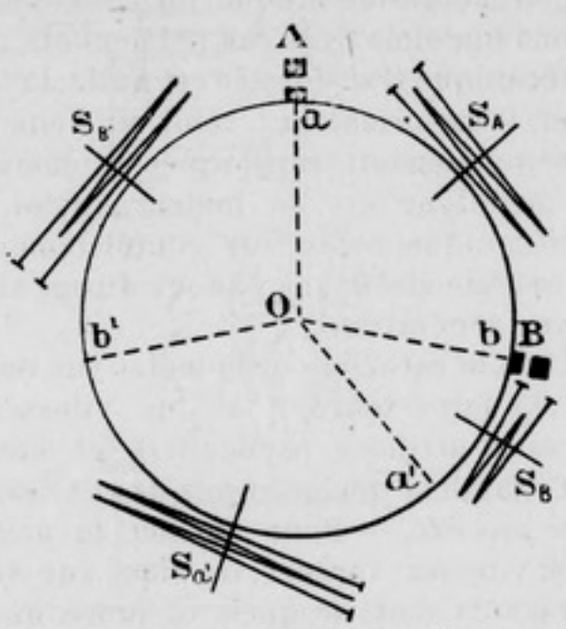


Fig. 3. — Schéma de la métadyne à deux balais à enroulement en tambour et à pas fractionnaire.

symbole S_A représentera dans les calculs la somme algébrique des ampères-tours de toutes les bobines statoriques du segment correspondant, le sens positif étant celui qui créerait un flux dirigé vers le centre de la machine (1);

5° Dans le cas de plusieurs enroulements distincts sur un même rotor à l'intérieur d'un même stator, chaque enroulement sera représenté par un cercle, tous les cercles étant concentriques;

6° Quand nous voudrons indiquer que plusieurs machines distinctes sont calées sur le même arbre ou sur des arbres accouplés mécaniquement, nous tracerons aux centres un petit carré;

7° Les appareils conduits par la métadyne seront désignés par les symboles Q_1, Q_2 et seront représentés par des rectangles avec diagonales.

6. Hypothèses fondamentales. — Pour ne faire ressortir que les éléments principaux des résultats, nous ferons les hypothèses suivantes, sauf stipulation contraire :

1° La perméance du fer est infinie;

2° La largeur des zones de commutation est nulle, ainsi que celle des balais; par contre, le nombre de lames au collecteur est infini; les segments polaires couvrent donc toute la circonférence de l'induit;

3° L'entrefer est uniforme;

4° La résistance des bobines statoriques comprises entre un balai et la borne correspondante est nulle;

5° La résistance de l'enroulement induit est nulle;

(1) Quand il n'y aura pas de confusion possible, nous n'indiquerons pas les bobines statoriques sur le schéma.

6° Le courant parcourant un enroulement shunt statorique est négligeable devant les courants aux bornes de la machine;

7° Les pertes par frottements et celles dans le fer sont négligées;

8° Dans une dynamo ordinaire l'effet de la réaction d'induit est supposé négligeable.

Il sera aisé de prévoir dans quel sens les résultats seront modifiés si une ou plusieurs de ces hypothèses simplificatrices sont levées.

Le « schéma fondamental » ou le « montage » de la métadyne est le schéma des connexions de la machine avec le réseau et les appareils conduits Q_1, Q_2 et sur lequel ne sont indiqués ni les enroulements statoriques d'excitation, ni le nombre d'enroulements rotoriques distincts, ni la longueur des segments entre deux balais consécutifs. Ces indications figurent sur le « schéma dérivé ».

Ainsi, nous adopterons souvent pour la représentation d'un schéma fondamental, ou montage de la métadyne, le mode suivant : des points arrés alignés indiqueront les balais; ils seront désignés par les mêmes lettres minuscules et se suivront de gauche à droite comme ils se suivent sur la machine quand on parcourt l'entrefer dans le sens dextrorsum, le premier balai à gauche étant supposé suivre immédiatement le dernier balai à droite.

Le schéma fondamental, ou montage de la métadyne, dépend du nombre de balais (par cycle, bien entendu) de la métadyne, du réseau d'alimentation et des appareils conduits,

7. Deuxième mode de réalisation. — Nous pouvons construire tous les schémas fondamentaux ou montages d'une métadyne ayant un nombre h de balais avec un système de réseau ayant un nombre total l de fils, et avec des appareils conduits ayant un nombre total q de bornes, en connectant chaque balai de la métadyne, soit à un autre balai de la métadyne, soit à un des l fils des réseaux non encore connecté à un autre balai de la métadyne, soit à une des q bornes des appareils conduits non encore connectée à un autre balai de la métadyne et en connectant les bornes restées libres des appareils conduits, soit entre eux, soit aux fils des réseaux.

On voit facilement que ce procédé donne un très grand nombre de combinaisons pour les montages de la métadyne si h est supérieur à 2.

Si nous nous limitons aux appareils conduits qui ont deux bornes seulement, en faisant abstraction des circuits statoriques dérivés de ces appareils, et à un système de réseau ayant deux fils seulement, on obtient pour $h = 3$ balais les huit montages représentés sur les figures 4 à 11, schémas établis conformément aux indications données à la fin du paragraphe précédent. Le nombre des montages, quoique fini pour un nombre fini de balais de la métadyne, augmente très rapidement avec le nombre de ces balais. Ainsi, si l'on admet encore les limitations ci-dessus indiquées et si l'on

considère une métadyne avec $k = 4$ balais, on a un nombre de montages bien plus grand ; sur les figures 12 à 25 sont représentées quelques-unes des combinaisons possibles.

Si les appareils conduits ont plus de deux bornes, le nombre des schémas de montages possibles augmente

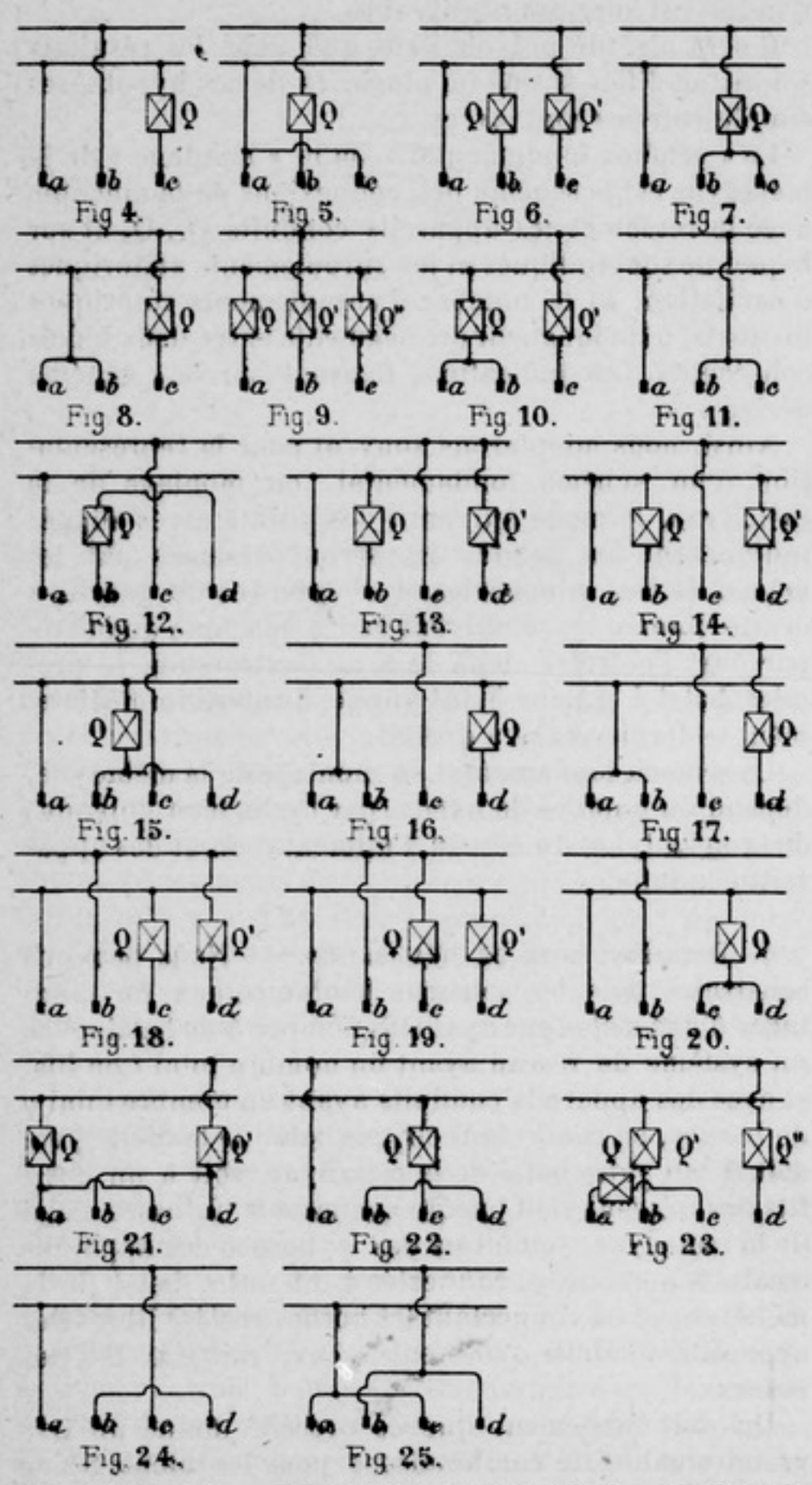


Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17.

Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20.

Fig. 21. Fig. 22. Fig. 23.

Fig. 24. Fig. 25.

Fig. 4 à fig. 11. — Schémas de montage de la métadyne à trois balais ($k = 3$) dans les cas d'un réseau à deux fils et d'un, de deux ou trois appareils conduits Q ayant chacun deux bornes.

Fig. 12 à fig. 25. — Schémas de montage de la métadyne à quatre balais ($k = 4$) dans les cas d'un réseau à deux fils et d'un ou deux appareils conduits ayant chacun deux bornes.

encore notablement de même que si le réseau compread plus de deux fils. Plusieurs de ces combinaisons n'ont pas d'application pratique ; il en subsiste toutefois un très grand nombre qui peuvent prendre un certain intérêt pratique.

Nous examinerons de près dans ce qui va suivre le fonctionnement d'un petit nombre de ces montages.

II. **Régulatrice et modulatrice.** — 1. TROISIÈME, QUATRIÈME ET CINQUIÈME MODES DE RÉALISATION : ÉTABLISSEMENT DE LA RÉGULATRICE ; CAS PARTICULIER DE LA VITESSE CONSTANTE. — La métadyne transforme en général de l'énergie électrique, en partie en énergie électrique d'une autre nature et en partie en énergie mécanique, ou inversement. Nous distinguerons toutefois trois cas particuliers : celui où l'énergie mécanique transformée est nulle, la métadyne est alors un transformateur ; celui où l'énergie électrique est complètement transformée en énergie mécanique, la métadyne est un moteur ; celui enfin où l'énergie mécanique reçue est complètement transformée en énergie électrique et nous dirons alors avoir une métadyne génératrice.

Quel que soit le caractère de la métadyne on ne peut, en général, la faire tourner à des vitesses prédéterminées sans artifices particuliers et nous allons maintenant examiner quelques-uns de ces derniers.

Troisième procédé. — Pour amener la métadyne à prendre des vitesses voulues, on place sur son stator des enroulements dans lesquels on lance un courant réglé par un appareil dont le fonctionnement dépend de la vitesse de la métadyne. Cet appareil sera appelé « régulatrice » et l'ensemble des enroulements statoriques en question, régulateur.

La régulatrice peut être constituée par un appareil à force centrifuge qui règle le courant dans le régulateur. Elle peut être aussi constituée par une génératrice de courant, dont la tension est une fonction de la vitesse, et alimenter un appareil sensible à la tension, qui règle à son tour le courant dans le régulateur. Ce dernier appareil est alors un régulateur de tension d'emploi courant.

Quatrième procédé. — La régulatrice peut être constituée par une dynamo shunt branchée sur le réseau à travers l'enroulement régulateur de la métadyne et solidaire directement ou indirectement de l'arbre de la métadyne.

Le courant dans l'enroulement régulateur de la métadyne changera de sens suivant que la régulatrice fonctionnera en moteur ou en génératrice. La régulatrice définie par le quatrième procédé se prête particulièrement bien au cas où l'on désire maintenir constante la vitesse de la métadyne et alors le schéma de la figure 26, par exemple, peut être adopté. Dans ce schéma, on n'a représenté, pour simplifier, que l'enroulement R de la métadyne. L_1 et L_2 sont deux fils d'un réseau sous une tension V, R_g est la régulatrice dont a et b sont les deux balais (nous supposons toujours avoir un seul cycle) ; A est un enroulement série et B, un enroulement shunt. Le circuit magnétique de la régulatrice est supposé loin de la saturation ; si alors r_1 est la résistance du circuit c a b parcouru par le courant i_1, r_2 la résistance du circuit de l'enroulement shunt cBb parcouru par le courant i_2, on peut admettre comme négligeable l'effet magnétique de la réaction d'induit

et donner à l'expression de la force électromotrice induite de la régulatrice la forme

$$N(K_1 i_1 + K_2 i_2),$$

où N est la vitesse, K_1 et K_2, deux constantes de cons-

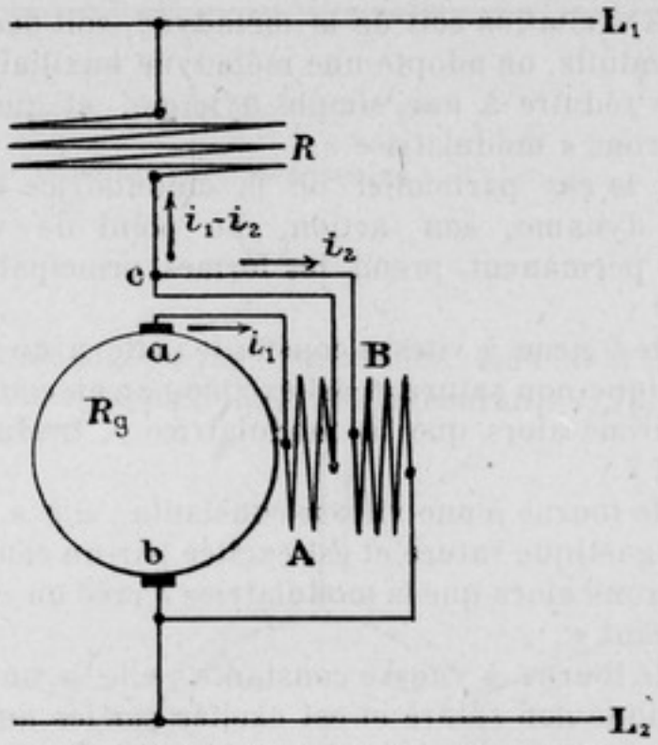


Fig. 26. — Schéma du montage de la métadyne (enroulement R) avec la régulatrice R_g suivant le quatrième procédé.

truction. Pour l'équilibre, pendant le régime permanent, il faut et il suffit que

$$N(K_1 i_1 + K_2 i_2) - r_1 i_1 = r_2 i_2 = R(i_1 - i_2) + V, \quad (1)$$

où R est la résistance du régulateur.
Si le déterminant

$$\Delta \equiv \begin{vmatrix} NK_1 - r_1 & NK_2 - r_2 \\ R & -R - r_2 \end{vmatrix}$$

n'est pas nul pour la valeur N_0 de la vitesse que nous désirons maintenir constante, il y aura un seul système de valeurs de i_1 et i_2 qui satisfont aux équations (1) et alors la vitesse de la métadyne ne saurait être constante pour un régime quelconque (en général).

Il faut donc rendre ce déterminant nul pour $N = N_0$. Si le déterminant est nul sans que les éléments de la première ligne soient nuls séparément, une au moins des deux variables i_1 et i_2 devient infinie. Mais si l'on fait simultanément

$$N_0 K_1 - r_1 = 0 = N_0 K_2 - r_2, \quad (2)$$

le système (1) est vérifié pour n'importe quel couple de valeurs de i_1 et i_2. Alors la régulatrice sera capable de fournir au régulateur de la métadyne n'importe quel courant $i_1 - i_2$ dans n'importe quel sens.

Toutefois il faut noter que, pour l'équilibre, il est nécessaire encore que le couple de la métadyne engendré par un courant positif parcourant le régulateur soit retardateur, le sens positif dans le régulateur étant celui qu'aurait i_1 quand la régulatrice fonctionne en génératrice.

Dans le cas du montage représenté sur la figure 27, les mêmes raisonnements sont applicables.

Si l'on désire une vitesse variable, on n'a qu'à modifier en conséquence le schéma correspondant à la vitesse

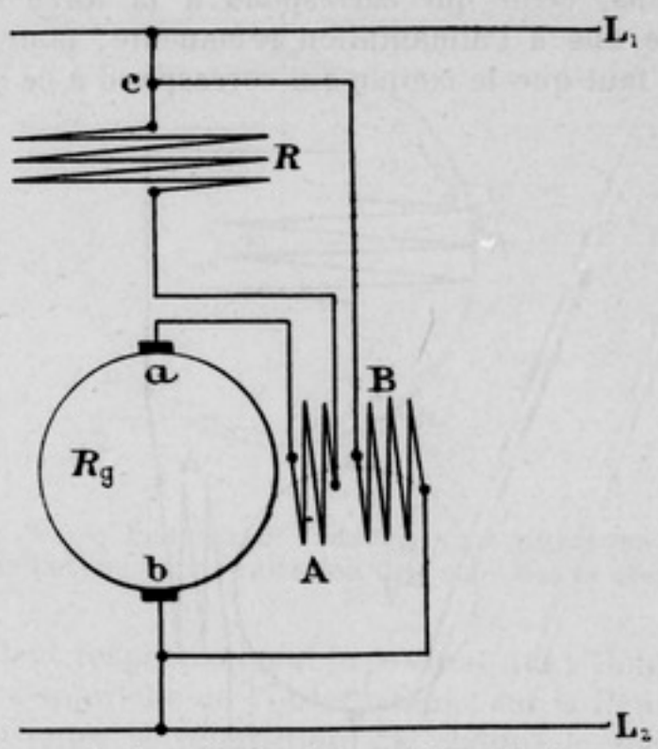


Fig. 27. — Autre schéma de montage de la métadyne R avec la régulatrice R_g suivant le quatrième procédé.

constante, en modifiant, par exemple, soit la résistance des circuits d'excitation de la régulatrice, soit celle des circuits principaux de la régulatrice, soit encore en introduisant un nouvel enroulement statorique; en général, on modifiera N_0 en modifiant une ou plusieurs des autres variables des équations (2) ou en introduisant d'autres variables.

La valeur de V n'intervient pas, comme on le voit; cette régulatrice peut donc fonctionner même si V est variable, par exemple, sur un réseau à tension variable, ou bien avec une batterie d'accumulateurs dont la tension diffère beaucoup dans les périodes de charge et dans celles de décharge. La tension V peut être prise aux bornes de deux balais de la métadyne elle-même; nous reviendrons plus tard sur ce montage.

Cinquième procédé. — La régulatrice peut être constituée par une dynamo série fermée sur le régulateur. Le schéma des connexions est alors celui de la figure 28 où on a représenté seulement l'enroulement régulateur R de la métadyne; R_g est la régulatrice, a et b, ses balais et A, l'excitation série. Le circuit magnétique étant supposé loin de la saturation, la résistance du circuit électrique étant r, la vitesse, N et K, une constante de construction, on aura pour l'équilibre en régime permanent

$$NKi - ri = 0, \quad (3)$$

où i est le courant, NKi, la force électromotrice induite, et où l'on a supposé nul l'effet magnétique de la réaction d'induit; si l'on admet

$$N_0 K = r, \quad (4)$$

où N_0 est la vitesse que l'on désire obtenir, l'équation (3) sera vérifiée, et seulement dans ce cas, par n'importe quelle valeur de i, c'est-à-dire que la régulatrice est capable dans ces conditions de fournir n'importe quel courant au régulateur de la métadyne.

En pratique toutefois, ce courant ne peut avoir qu'un seul sens, celui qui correspond à la force électromotrice due à l'aimantation rémanente; pour l'équilibre il faut que le couple qui correspond à ce courant

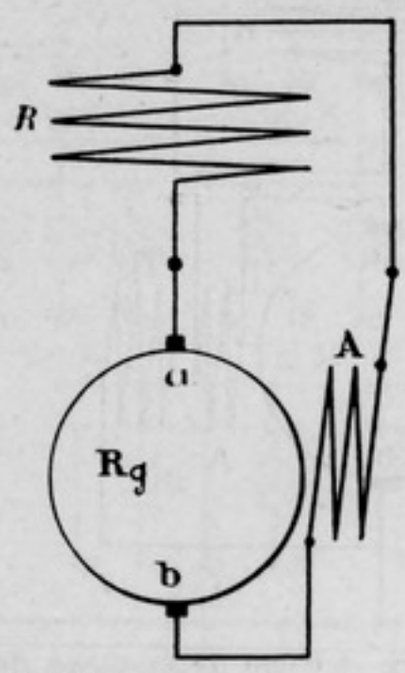


Fig. 28. — Schéma du montage de la métadyne avec la régulatrice R_g suivant le cinquième procédé.

dans la métadyne soit retardateur. Si l'on veut que N_0 soit constant, il faut que $\frac{r}{K}$ le soit aussi; en particulier il suffira qu'on laisse intact le circuit de la régulatrice; si l'on veut faire varier N_0, on fera varier en conséquence deux autres constantes de l'équation (4).

La régulatrice série est plus petite que la régulatrice shunt et elle n'est pas soumise à la tension V du réseau; mais elle a l'inconvénient de fournir un courant qui a un seul sens. Pour remédier à cet inconvénient, il suffit de constituer l'enroulement statorique régulateur de la métadyne en deux parties : une première partie parcourue par le courant de la régulatrice et ne pouvant donner que des ampères-tours A_1 variables, mais dans un sens seulement, et une deuxième partie donnant des ampères-tours A_2 constants et en sens inverse de A_1, de sorte que la somme algébrique $A_1 + A_2$ pourra prendre un sens ou l'autre suivant la valeur absolue de A_1.

Remarque. — On pourrait croire que, pour des raisons de symétrie, le couple d'une métadyne dont le circuit statorique ne porte aucun enroulement et aurait la forme d'un tore rectangulaire est nul, au couple dû à l'hystérésis près. Cela est vrai si le fer du stator est au même état de saturation partout. Mais en général ceci n'a pas lieu; ce tore agit alors comme s'il était à pôles saillants et la métadyne développe un couple important. Par conséquent, même dans le cas d'un stator dépourvu de tout enroulement et en forme de tore, le régulateur est utile; si l'on voulait s'en passer et entraîner la métadyne par un moteur auxiliaire, on s'apercevrait vite que ce moteur doit être en général du même ordre d'importance que la métadyne.

2. Sixième mode de réalisation : établissement de la modulatrice. — Afin d'agir sur les enroulements statoriques d'excitation soit de la métadyne, soit des appareils conduits, on adopte une métadyne auxiliaire, qui peut se réduire à une simple dynamo, et que nous appellerons « modulatrice ».

Dans le cas particulier où la modulatrice est une simple dynamo, son action, au point de vue du régime permanent, prend les formes principales suivantes :

1° Elle tourne à vitesse constante ; elle a un circuit magnétique non saturé et est excitée par un courant i ; nous dirons alors que la modulatrice « traduit » le courant i ;

2° Elle tourne à une vitesse constante ; elle a un circuit magnétique saturé et est excitée par un courant i; nous dirons alors que la modulatrice « crée un coude » du courant i ;

3° Elle tourne à vitesse constante ; elle a un circuit magnétique non saturé et est excitée par les ampères-tours $n_1 i_1$, $n_2 i_2$, ... $n_h i_h$, bien déterminés en valeur absolue et par leur sens ; nous dirons alors que la modulatrice « combine linéairement » les courants i_1, i_2, .. i_h ;

4° Elle tourne à une vitesse variable suivant une certaine loi $N = f(x, y)$ où N est la vitesse et x, y des arguments ; elle a un circuit magnétique non saturé et est excitée par un courant i ; nous dirons alors que la modulatrice « multiplie le courant i par la loi $f(x, y)$ ».

Naturellement l'action de la modulatrice peut revêtir simultanément plusieurs de ces formes.

L'arbre de la modulatrice peut être ou non solidaire de l'arbre de la métadyne; l'ensemble de la métadyne, de sa régulatrice et de sa modulatrice éventuelle sera appelé « groupe métadyne » ou plus brièvement « métadyne » quand il ne pourra pas y avoir confusion.

III. **Etude du régime stationnaire.** — 1. Répartition des courants dans l'induit. — Il n'est jamais question de la répartition des courants dans l'induit d'une dynamo normale, les courants se répartissant uniformément ; dans l'induit d'une métadyne la loi de la répartition des courants est plus compliquée. Quel que soit son genre, à anneau Gramme ou en tambour imbriqué, un enroulement peut toujours être représenté par un cercle sur lequel il est supposé développé et sur lequel portent les balais aux distances angulaires respectives qu'ils ont réellement sur le collecteur (fig. 29). Nous désignerons par le symbole I_a le courant qui vient au balai a de l'extérieur, le sens positif étant donc celui qui conduit vers l'induit ; par le symbole I_{ab} le courant dans le segment d'induit qui va du balai a au balai b en suivant le sens dextrorsum. En régime per-

manent nous avons

$$\left.\begin{aligned} I_a &= I_{ab} - I_{ha}, \\ I_b &= I_{bc} - I_{ab}, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &\cdots\cdots\cdots \\ I_h &= I_{ha} - I_{gh}, \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

et comme conséquence nécessaire

$$\sum_a I_a = 0, \qquad (6)$$

cette somme algébrique s'étendant à tous les h balais.

Le système d'équations (5) où les courants $I_a, I_b, \ldots I_h$

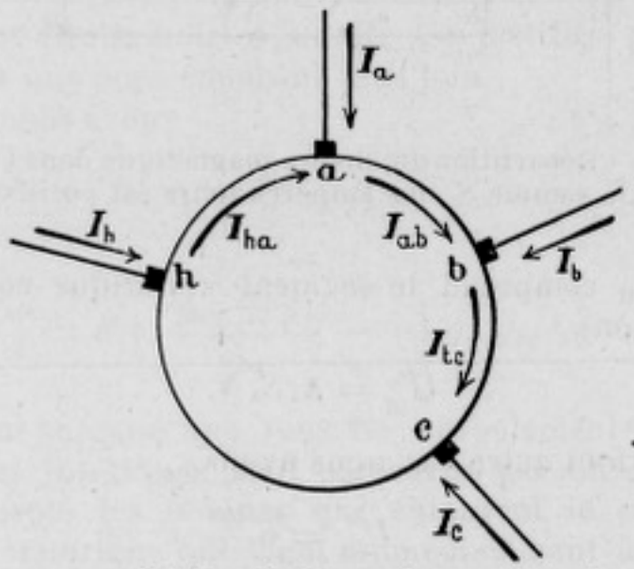


Fig. 29. — Schéma de l'enroulement rotorique d'une métadyne.

sont supposés donnés, ne peut déterminer les courants I_{ab}, I_{bc}, ... I_{ha} qu'à une constante près. Il faut fixer arbitrairement la valeur de l'un quelconque de ces derniers pour que les autres soient alors connus.

Pour déterminer les courants I_{ab}, I_{bc}, ... I_{ha}, il faut compléter le système d'équations (6) par la relation

$$\sum_{ab} I_{ab} r_{ab} = 0, \qquad (7)$$

où r_{ab} indique la résistance du segment de l'enroulement induit qui va du balai a au balai b en suivant le sens dextrorsum. Un système de solutions du système (5) pris tout seul ne représente donc pas en général les courants réels dans l'induit ; toutefois, ces systèmes de solutions nous seront très utiles et nous les appellerons dans la suite « systèmes de courants fictifs dans l'induit ».

2. Forces électromotrices induites dans le rotor. — Nous admettons les hypothèses simplificatrices énoncées dans le paragraphe I et nous supposons connues la répartition des courants dans l'induit et celles des ampères-tours autour de chaque segment polaire statorique pour déterminer la force électromotrice entre les différents balais.

1° *Enroulements en tambour imbriqué.* — Supposons nuls tous les courants statoriques et rotoriques, excepté le courant I_{ab} (fig. 30), le pas de l'enroulement induit étant, en général, fractionnaire. Des croix et des points

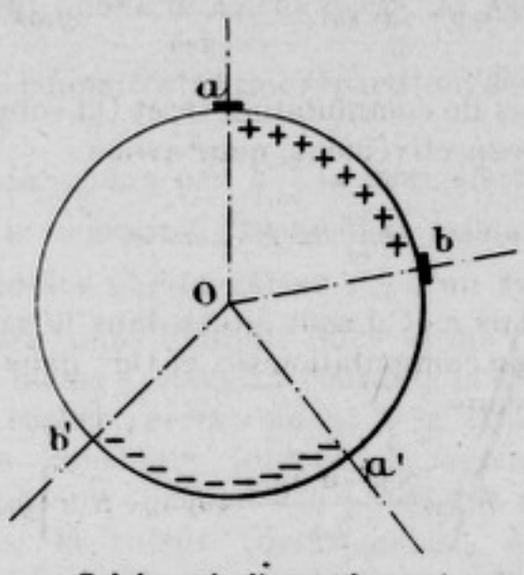


Fig. 30. — Schéma de l'enroulement rotorique d'une métadyne avec indication des sens des courants.

représentent respectivement le courant qui s'éloigne et celui qui s'approche de l'observateur ; sur la figure 31 est représentée la répartition du champ le long de l'entrefer quand I_{ab} est positif. Nous indiquerons par le symbole E_{cd}^{ab} la force électromotrice induite par l'action du courant rotorique I_{ab} entre les balais c et d, le

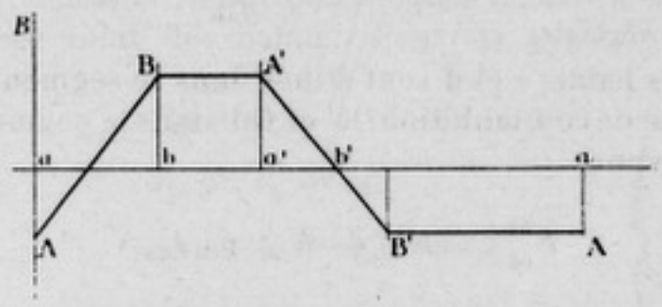


Fig 31. — Répartition du champ magnétique dans l'entrefer si le courant I_{ab} est positif.

sens positif étant celui qui va du balai c au balai d. Nous avons

$$E_{ab}^{ab} = 0. \qquad (8)$$

Si les balais c et d sont situés dans le segment ba', et les axes de commutation Oc' et Od' dans le segment b'a nous avons

$$E_{cd}^{ab} = (K_{ab} - K'_{ab})\, g_{cd}\, I_{ab}\, N, \qquad (9)$$

où K_{ab} et K'_{ab} sont deux constantes de construction relatives à la paire des balais a et b, la première de ces constantes étant proportionnelle à l'ordonnée positive bB de la figure 31 et la seconde au module de l'ordonnée négative a A ; g_{cd} est la longueur de l'arc qui va du balai c au balai d, le sens positif étant le sens dextrorsum ; enfin, N est la vitesse de rotation de la métadyne en tours par seconde, comptée dans le sens dextrorsum.

Si les balais c et d sont situés dans le segment a'b', et les axes de commutation Oc' et Od', dans le segment b'a, nous avons

$$E_{cd}^{ab} = (K_{ab} - K'_{ab}) \frac{g_{db'} + 0,5\, g_{cd}}{g_{ab}} g_{cd} I_{ab} N. \quad (10)$$

Si les axes de commutation Oc et Od coïncident avec Oa' et Ob' respectivement, nous avons

$$E_{cd}^{ab} = E_{a'b'}^{ab} = 0. \quad (11)$$

Si les balais c et d sont situés dans le segment a' b' et les axes de commutation Oc' et Od', dans le segment ba', nous avons

$$E_{cd}^{ab} = \left[(K_{ab} - K'_{ab}) \frac{g_{db'} + 0,5 g_{cd'}}{g_{ab}} + K'_{ab} - K_{ab} \right] g_{cd} I_{ab} N. \quad (12)$$

Si les balais c et d sont situés dans le segment b'a et les axes de commutation Oc' et Od', aussi, nous avons

$$E_{cd}^{ab} = 0. \quad (13)$$

Si les balais c et d sont situés dans le segment b' a et les axes de commutation Oc' et Od' dans le segment a b, nous avons

$$E_{cd}^{ab} = (K'_{ab} - K_{ab}) \frac{g_{ac'} + 0,5\, g_{cd}}{g_{ab}} g_{cd} I_{ab} N. \quad (14)$$

Si les balais c et d sont situés dans le segment b'a et les axes de commutation Oc' et Od' dans le segment ba', nous avons

$$E_{cd}^{ab} = (K'_{ab} - K_{ab})\, g_{cd} I_{ab} N. \quad (15)$$

Si les segments g_{cd} ou $g_{c'd'}$ ne sont pas entièrement compris dans un des segments g_{ab}, g_{ba}, $g_{a'b'}$, $g_{b'a'}$, on les subdivisera convenablement, puis on appliquera à chacun des éléments les formules qui précèdent et on fixera ensuite la somme algébrique des forces électromotrices.

Considérons toujours l'enroulement en tambour imbriqué et supposons que tous les enroulements statoriques et rotoriques sont parcourus par un courant nul, excepté les bobines qui entourent le segment polaire statorique immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa et qui donnent une somme algébrique S_λ d'ampères-tours. La figure 32 montre alors la répartition du champ engendré dans l'entrefer pour une valeur positive de S_λ. Le symbole U_{ab}^{λ} représente la force électromotrice induite entre les balais a et b, dans le sens qui va de a vers b par l'action de S_λ, et nous avons, en admettant que Ob est l'axe de commutation qui vient immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa

$$U_{ab}^{\lambda} = \Lambda_\lambda S_\lambda N, \quad (16)$$

où Λ_λ est une constante de construction relative au segment statorique considéré.

Si les axes de commutation Oc et Od coïncident respectivement avec Oa et Ob, nous avons

$$U_{cd}^{\lambda} = -\Lambda_\lambda S_\lambda N. \quad (17)$$

La même formule est valable quand le segment $g_{c'd'}$ comprend le segment statorique considéré. Si le segment g_{cd} comprend le segment statorique considéré nous avons

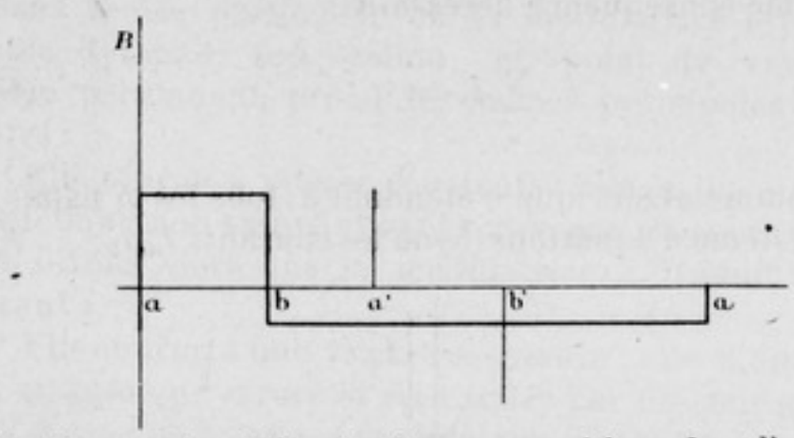


Fig. 32. — Répartition du champ magnétique dans l'entrefer si la somme S_λ des ampères-tours est positive.

$$U_{cd}^{\lambda} = \Lambda_\lambda S_\lambda N. \quad (18)$$

Dans tout autre cas nous avons

$$U_{cd}^{\lambda} = 0. \quad (19)$$

2° *Enroulement en anneau Gramme.* — Supposons nuls tous les courants statoriques et rotoriques excepté le courant I_{ab}. La figure 33 représente alors la répartition des courants pour une valeur positive de I_{ab}.

Les conventions sur le circuit magnétique faites au premier chapitre ne permettent pas à elles seules de

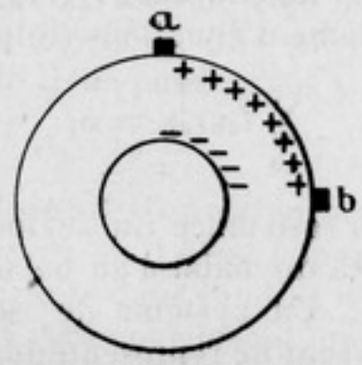


Fig. 33. — Répartition du courant sur la périphérie de l'induit en anneau Gramme.

déterminer, dans ce cas particulier, la répartition du champ le long de l'entrefer. Mais si, en même temps que I_{ab}, nous supposons qu'il existe un courant I_{ba}, tel que

$$\frac{I_{ab}}{I_{ba}} = \frac{g_{ba}}{g_{ab}},$$

on peut déterminer la répartition du champ tout en respectant les hypothèses faites au premier chapitre et

l'on obtient la ligne brisée ABA de la figure 34. Nous supposerons que même quand I_{ab} est considéré seul, la répartition se fait de la même manière. Cette façon d'opérer toutes les fois qu'il est question de déterminer

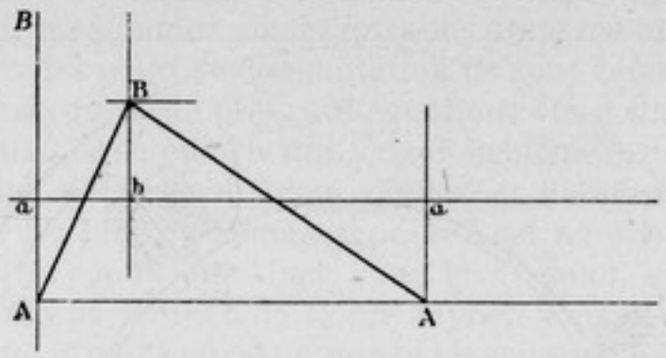


Fig. 34. — Répartition du champ magnétique dans l'entrefer dans le cas d'un anneau Gramme.

une force électromotrice induite est justifiée par un théorème que nous énonçons plus loin.

Alors nous avons

$$E^{ab}_{ab} = 0, \tag{20}$$

et

$$E^{ab}_{cd} = K\left(\frac{2g_{da} + g_{cd}}{g_{ba}} - 1\right) g_{ab} g_{cd} I_{ab} N. \tag{21}$$

Si l'on suppose que tous les enroulements statoriques et rotoriques sont parcourus par un courant nul, excepté les bobines qui entourent le segment polaire statorique qui vient immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa et qui donnent une somme algébrique d'ampères-tours S_λ, nous avons

$$U^\lambda_{ab} = \Lambda_\lambda S_\lambda N, \tag{22}$$

où Λ_λ est une constante de construction et l'on suppose que l'axe de commutation a b vient immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa. Nous avons pour tout autre cas

$$U^\lambda_{cd} = -\Lambda'_\lambda S_\lambda N, \tag{23}$$

où Λ'_λ est une constante de construction, relative toujours au même segment polaire immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa.

3° *Conclusion.* — La force électromotrice totale induite dans le segment rotorique a b, d'après nos hypothèses, est égale à la différence de potentiel V_{ab} entre les balais a et b,

$$V_{ab} = \sum_{cd} E^{cd}_{ab} + \sum_{\lambda} U^\lambda_{ab}, \tag{24}$$

où les symboles des sommes avec les indices inférieurs indiquent que la somme algébrique doit être étendue à tous les termes qui proviennent de celui écrit à droite de la somme quand on fait varier les indices en question suivant une permutation circulaire.

3. Premier théorème. — *La force électromotrice induite dans un segment de l'induit, due à l'action des ampères-tours rotoriques, peut être calculée en partant de n'importe quel système de courants fictifs de l'induit.*

Autrement dit, pour le calcul de $\sum_{ab} E^{ab}_{c1}$ il n'est pas nécessaire de connaître la vraie répartition des courants dans l'induit.

En effet, désignons par E'^{ab}_{cd} la force électromotrice induite par le courant I_{ab} réellement existant, et par E'^{ab}_{cd} celle induite par la valeur I'_{ab} d'un système de courants fictifs dans l'induit. Nous avons vu que les valeurs d'un même système de courants fictifs diffèrent des valeurs réelles correspondant à la vraie répartition par une constante, toujours la même. Si donc nous décomposons chacune des premières valeurs en deux termes, la valeur correspondant à la vraie répartition et la constante en question, nous avons

$$\sum_{ab} E'^{ab}_{cd} = \sum_{ab} E^{ab}_{cd} + P,$$

où P est donc la force électromotrice induite dans le segment d'induit cd par un courant constant parcourant toute la longueur de l'enroulement induit. Or P est nul et le théorème est démontré.

Le plus souvent nous choisissons par la suite ce système de courants fictifs pour lequel $I_{ha} = 0$, où h est le nombre total des balais. Pour ce système nous avons

$$\left.\begin{aligned} &I_{ab} = I_a, \\ &I_{bc} = I_a + I_b, \\ &I_{cd} = I_a + I_b + I_c, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &I_{ha} = 0, \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

ce qui simplifiera les calculs et les écritures.

4. Des équations du fonctionnement. — Les hypothèses du premier chapitre étant toujours en vigueur, nous avons pour le régime stationnaire

$$V_{ab} = \sum_{cd} E^{cd}_{ab} + \sum_{\lambda} U^\lambda_{ab},$$

$$V_{bc} = \sum_{dc} E^{dc}_{bc} + \sum_{\lambda} U^\lambda_{bc},$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$V_{ha} = \sum_{bc} E^{ch}_{ab} + \sum_{\lambda} U^\lambda_{ha},$$

que nous appellerons « équations du rotor ». Les lois d'Ohm et de Kirchhoff, appliquées aux enroulements statoriques, nous donnent les « équations du stator ». En introduisant la régulatrice et éventuellement la

modulatrice, on obtient les équations de la régulatrice et celles de la modulatrice.

Les équations du rotor, du stator, de la régulatrice et de la modulatrice forment ensemble ce que nous appellerons le « groupe des équations internes de la métadyne ».

Les équations qui lient les tensions et les courants qui figurent sur les appareils conduits constituent le groupe d' « équations des appareils conduits ».

Enfin les équations dans lesquelles sont exprimées les connexions des bornes de la métadyne au réseau, aux appareils conduits, et entre ces bornes mêmes constituent le « groupe d'équations du montage de la métadyne ».

Les équations des appareils conduits et celles du montage forment ensemble ce que nous appellerons le « groupe des équations externes de la métadyne ».

L'ensemble des équations internes et externes de la métadyne définit le régime stationnaire en fonction d'un groupe de variables indépendantes en nombre égal à q.

Si l'on considère toutes les équations, excepté celles des appareils conduits, et si parmi ces dernières il y a p équations indépendantes, le nombre des variables indépendantes devient égal à $p+q$ dont p d'entre elles seront alors nécessairement des courants et des tensions fournis aux appareils conduits. Le résultat de cette élimination sera un groupe de $p+q$ variables. Ce groupe de p équations est indépendant de la nature et du fonctionnement des appareils conduits et dépend uniquement du groupe métadyne et du montage choisi pour la métadyne. Il caractérise donc son action et pour cela nous appelons ce groupe les « équations caractéristiques de la métadyne et de son montage ».

En pratique le problème le plus fréquent est celui relatif à la construction d'une métadyne et au choix d'un montage qui satisfassent certaines équations caractéristiques fixées à priori.

5. Elimination de l'action rotorique sur la plage de commutation. — Avant de passer à l'étude du fonctionnement de la métadyne, il est opportun d'assurer une bonne commutation. On pourra appliquer l'artifice des pôles de commutation ou tout autre artifice, si on a éliminé au préalable toute action des enroulements statoriques principaux, c'est-à-dire autres que ceux particulièrement destinés à la commutation, et celle des enroulements rotoriques.

Le premier procédé décrit dans le paragraphe I permet d'éliminer l'action des enroulements statoriques principaux; nous allons maintenant chercher à éliminer l'action des ampères-tours rotoriques sur la plage de commutation, c'est-à-dire assurer la compensation de l'action du rotor le long de la plage de commutation.

Sur la figure 35 est représentée schématiquement une métadyne avec n pôles de commutation et les bobines qui les entourent.

Soient $e_a, e_b, \ldots e_n$ les entrefers sous les pôles de commutation correspondants;

$I_a, I_b, \ldots I_n$ les courants à commuter;

$B_a, B_b, \ldots B_n$, les inductions que l'on se propose de créer sous les pôles de commutation correspondants, le sens positif étant celui du flux vers le centre;

$T_a, T_b, \ldots T_n$ la somme algébrique des ampères-tours des bobines qui entourent le pôle de commutation

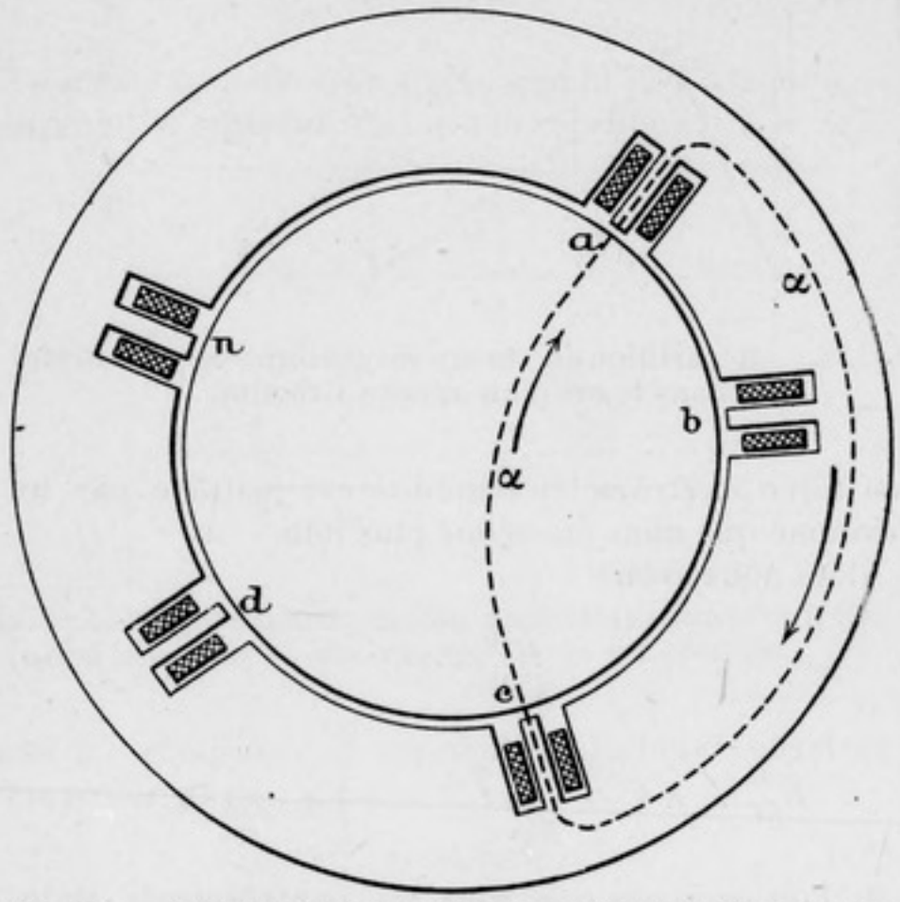


Fig. 35. — Schéma d'une métadyne avec des pôles de commutation et représentation du circuit magnétique parcouru par le flux créé par ces pôles.

correspondant, le sens positif étant celui qui créerait un flux dirigé vers le centre;

$\alpha, \beta, \ldots \lambda, \ldots$ des lignes en boucle fermée, tracées dans le circuit magnétique de la métadyne, et qui traversent l'entrefer dans le sens radial sous les pôles de commutation et sont partout ailleurs complètement noyées dans le fer. Ces lignes, quand elles sont composées par un nombre impair de boucles simples, ont comme sens positif, le sens dextrorsum;

$H_\alpha, H_\beta, \ldots H_\lambda, \ldots$ les ampères-tours d'induit qui embrassent ces lignes $\alpha, \beta, \ldots \lambda, \ldots$ le sens positif étant celui qui créerait un flux dans le sens positif de la ligne embrassée.

Il y a une infinité de lignes $\alpha, \beta, \ldots \lambda, \ldots$; celles qui traversent l'entrefer deux fois seulement sont en nombre égal à $\frac{n(n-1)}{2}$. Si l'on se limite à ces dernières et si l'on applique la loi de Maxwell, on a $\frac{n(n-1)}{2}$ équations de la forme (fig. 35)

$$H_\alpha + \frac{10}{4\pi}(B_a e_a - B_c e_c) = T_a - T_c. \qquad (26)$$

Il est facile de voir que parmi ces $\frac{n(n-1)}{2}$ équations, il y en a seulement $n-1$ qui sont indépendantes et que, si ces dernières sont satisfaites, l'équation qui corres-

pond à n'importe laquelle des lignes en nombre infini $\alpha, \beta, \ldots \lambda, \ldots$, le sera aussi. Il suffit donc que ces $n - 1$ équations (26) indépendantes les unes des autres soient satisfaites pour que les bobines des pôles de commutation soient convenablement établis ; par conséquent, les sommes algébriques des ampères-tours des bobines des pôles de commutation ne sont déterminées qu'à une constante près, les équations étant linéaires ; on pourra donc choisir une valeur arbitraire, soit, par exemple, zéro, pour l'une d'elles et déterminer les autres. Ou bien on pourra imposer à ces ampères-tours une autre condition. Ainsi pour la dynamo, qui n'est qu'un cas particulier de la métadyne, le système (26) se réduit à une seule équation indépendante, à laquelle on adjoint, quand on emploie deux pôles de commutation bobinés, (nous supposons toujours avoir un seul cycle), la condition supplémentaire d'avoir le même nombre d'ampères-tours en valeur absolue.

Une façon simple de choisir, pour la métadyne en général, les $n - 1$ équations (26) indépendantes, consiste à tracer $n - 1$ boucles simples traversant l'entrefer deux fois seulement à des axes de commutation adjacents.

6. Deuxième théorème. — *Pour le calcul des ampères-tours des bobines des pôles de commutation, on peut partir de n'importe quel système de courants fictifs de l'induit quand l'enroulement est en tambour,*

Considérons la ligne en boucle α et, en particulier, le segment de cette ligne qui parcourt le fer induit ; ce segment de ligne coupe en général plusieurs axes de commutation et est subdivisé ainsi en segments élémentaires. Soient Om et On deux de ces axes de commutation consécutifs et soient H_α^{mn} les ampères-conducteurs dans le segment de l'enroulement induit compris entre les axes de commutation Om et On. Nous avons

$$H_\alpha = \sum_{mn} H_\alpha^{mn};$$

la somme s'étendant à tous les segments élémentaires indiqués plus haut. Or, le segment de l'enroulement induit compris entre les axes de commutation Om et On est composé d'un nombre égal de conducteurs « d'aller » et de conducteurs « de retour », les premiers parcourus par le courant I_{mn} et les seconds, par le courant I_{pq}. Nous avons donc

$$H_\alpha = \sum_{mn} H_\alpha^{mn} = \sum_{mn} C g_{mn} (I_{mn} - I_{pq}), \qquad (27)$$

où C est une constante de construction. Les courants I_{mn} et I_{pq} sont les courants de la répartition vraie, bien entendu ; mais si nous leur substituons un système de courants fictifs dans l'induit, la somme de la formule (27) n'est nullement modifiée puisque le système des courants fictifs a des valeurs qui diffèrent de celles du système des courants vrais par une constante ; ce qui démontre bien le théorème.

7. Des enroulements des pôles de commutation. — Prenons les équations (26). L'induction B_a est proportionnelle au courant à commuter I_a, l'induction B_c, au courant I_c.

D'autre part, remplaçons H_α par son expression en fonction des courants de l'induit, ceux-ci étant exprimés en fonction des courants qui vont aux balais : $I_a, I_b, \ldots I_h$, c'est-à dire des courants à commuter. Cette opération est particulièrement simple pour les induits en tambour grâce au théorème précédent. Nous aurons ainsi les premiers membres des $n - 1$ équations indépendantes (26) sous la forme linéaire par rapport aux courants a commuter I_a $I_b, \ldots I_h$. Décomposons chaque terme T_a en une combinaison linéaire des mêmes courants

$$T_a = T_{aa} I_a + T_{ab} I_b + \ldots + T_{ah} I_h, \qquad (28)$$

où les symboles T_{ab} à deux indices représentent les nombres de spires à déterminer. Enfin, explicitons que les $n - 1$ équations indépendantes (26) sont des identités par rapport aux courants à commuter, c'est-à-dire écrivons que la somme algébrique de tous les coefficients de chaque terme $I_a, I_b, \ldots I_h$ est égale à zéro pour chacune des $n - 1$ équations et nous aurons $(n-1)h$ équations qui constituent la condition à laquelle doivent satisfaire les nombres de spires $T_{aa}, T_{ab}, \ldots T_{ah}$ $T_{ba}, \ldots T_{hh}$.

Ce procédé qui conduit à la détermination des nombres de spires des pôles de commutation constitue le septième procédé.

Les variables représentant les nombres de spires sont en nombre égal à nh, donc h d'entre elles sont arbitraires en général, ou bien on pourra imposer certaines conditions, telles que celles relatives à certaine symétrie des enroulements, au poids minimum de cuivre, à l'absence de certains pôles, etc.

Nous avons pris les lignes en boucles $\alpha, \beta, \ldots \lambda, \ldots$ telles qu'elles ne traversent l'entrefer que sous les pôles de commutation pour faciliter les écritures et simplifier le langage ; mais on pourrait prendre d'autres boucles qui traversent l'entrefer aussi sous les segments polaires principaux ; le résultat sera le même.

Pour certains procédés de commutation, il est nécessaire qu'au-dessus de la zone de commutation le champ soit nul ; on aura alors $B = 0$ dans les équations (26) et les ampères-tours $I_a, I_b, \ldots I_h$ ne feront alors que compenser la réaction de l'induit au-dessus de cette zone.

(A suivre)

Joseph-Maxime Pestarini.

Revues, analyses et informations

Mesure et enregistrement des variations instantanées de la lumière au moyen d'une cellule photoélectrique et d'un oscillographe (1).

1. Introduction. — Les mesures entreprises par l'auteur sont relatives aux variations périodiques de l'intensité lumineuse des lampes à incandescence alimentées en courant alternatif. La plupart des travaux effectués sur ce même sujet ont eu pour but la recherche de l'influence de la fréquence et la détermination de la fréquence minimum qu'il serait avantageux de ne pas dépasser pour l'éclairage.

Parmi ces travaux il faut citer ceux de Porter, qui a trouvé une relation de forme logarithmique entre l'intensité lumineuse et la fréquence; ceux de Keilholz et Branch qui ont principalement étudié les lampes alimentées à la fréquence de 25 p:s et qui opéraient par comparaison, sur le même photomètre, de lampes alimentées par des courants différents; enfin ceux de Kennelly et Whiting, qui ont étudié le phénomène aussi bien au point de vue psychologique qu'au point de vue technique. Mentionnons aussi que Ives en 1909 et Sharp en 1906, sans traiter complètement le problème, ont publié des résultats de mesures se rapportant à cette question.

2. Méthode et appareil. — Afin d'éviter l'imprécision des mesures dans lesquelles l'œil intervient, il était nécessaire de disposer d'un appareil pouvant mesurer rapidement — et si possible enregistrer — les variations rapides de l'intensité lumineuse avec une précision assez élevée et sans que les observateurs eussent à intervenir autrement que pour déclencher la mise en marche et l'arrêt des appareils.

On a donc abandonné les procédés visuels et on a utilisé les propriétés des cellules photoélectriques. L'une de celles-ci était exposée à la lumière de la source étudiée et le courant produit était amplifié, puis envoyé dans un oscillographe muni d'un dispositif photographique.

La cellule utilisée par l'auteur était du type « Burt », à électrode de sodium dans le vide. Elle a été réalisée par un procédé différent de ceux qui sont généralement adoptés pour cette fabrication. En particulier, le sodium est introduit directement dans l'ampoule par électrolyse, ce qui a pour résultat de donner une couche sensible absolument pure. Cette cellule est vidée d'air jusqu'à une très faible pression et aucun gaz inerte n'est introduit dans l'ampoule après le vidage.

La cellule « Burt » fonctionne d'une manière régulière dans les conditions les plus divergentes. C'est ainsi qu'il a été possible, après l'avoir exposé tout un jour à la lumière du soleil, de procéder immédiatement à une mesure précise sur le flux lumineux provenant d'un appareil à éclats placé à 1 mètre de la cellule. Sa sensibilité est élevée, puisqu'elle est susceptible de fournir un courant d'un microampère pour un éclairement de 100 lux.

Etant donné que les variations d'intensité lumineuse d'une lampe à incandescence de type normal sont faibles, surtout lorsque la fréquence du courant d'alimentation est élevée, les variations du courant photoélectrique doivent elles-mêmes être très petites par rapport à la valeur totale de ce courant qui correspond à la valeur moyenne de l'éclairement produit et dépend, dans une large mesure, de la tension de la batterie de polarisation de la cellule. Pour l'étude dont il est question ici, il était donc avantageux d'amplifier la composante variable de ce courant et de réduire au contraire, si possible, la valeur du courant moyen. Ce but a pu être rempli en utilisant une résistance de valeur déterminée aux bornes de l'amplificateur intercalé sur le circuit de la cellule.

La valeur de cette résistance devait être assez grande pour que la chute de tension à appliquer à la grille de la première lampe de cet amplificateur fût assez notable; elle ne devait cependant pas être trop élevée, d'une part, du fait que la relation simple qui existe entre l'éclairement et le courant produit par la cellule aurait été modifié et, d'autre part, afin que la chute de tension totale du circuit fût assez faible pour que la cellule photoélectrique fonctionnât à courant de polarisation constant. En tenant compte de ces conditions contradictoires, on a finalement choisi la valeur de 3,2 mégohms qui, pratiquement, paraît donner les meilleurs résultats.

En raison de la faiblesse des variations du courant produit par la cellule, il est essentiel d'éviter toute interférence dans les premiers étages d'amplification, car celles-ci pourraient avoir une intensité du même ordre. On a donc placé tout le circuit photoélectrique, y compris la cellule elle-même, dans une boîte en cuivre reliée au sol, qui joue le rôle de bouclier électromagnétique. Une fenêtre circulaire de 7,5 cm de diamètre est seule prévue pour le passage des rayons lumineux dirigés vers la cellule.

Par suite des phénomènes de distorsion introduits par les amplificateurs à couplage par transformateurs, il n'a pas été possible d'utiliser ces appareils. On a dû recourir à des amplificateurs à couplage par résistances et capacités. Le modèle employé dans les expériences de l'auteur était à quatre étages et il était protégé par un bouclier électrostatique formé de deux parties.

Il a été reconnu nécessaire, pour réduire les perturbations électriques au minimum, de placer l'amplificateur au voisinage du circuit photoélectrique et d'établir, dans l'amplificateur, des connexions aussi courtes que possible entre les étages, principalement dans les circuits des grilles. On a dû éviter, d'autre part, les perturbations d'ordre mécanique provenant des vibrations transmises par les supports ou par l'air. Dans ce but, les appareils ont été disposés sur des supports élastiques comportant des plaques de feutre et de caoutchouc, et toutes les expériences ont été effectuées dans une cabine entièrement close, construite en matériaux absorbant les sons.

3. Résultats. — On a utilisé cet appareil pour relever les courbes donnant les différentes valeurs de l'éclairement pendant une ou plusieurs périodes du courant alternatif pour des lampes de différents types alimentées en courant à 30 p:s ou à 60 p:s.

D'une façon générale, on a constaté que les variations d'intensité lumineuse étaient d'autant plus faibles que la puissance de la source était plus élevée et que le filament était de texture plus grossière.

En comparant, d'autre part, des lampes absorbant sensiblement la même puissance, à filament de charbon et de tungstène, (fig. 1 et 2) on a trouvé que les lampes à filament

(1) W.-E. Messerve. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, septembre 1929, t. xxiv, p. 671-683, 4 000 mots, 15 figures.

de charbon donnaient une variation de lumière beaucoup plus faible. Ceci s'explique par le fait que le filament de tungstène a une capacité calorifique sensiblement double de celle d'un filament de charbon de mêmes dimensions,

Fig. 1. — Courbe relative à une lampe à incandescence à filament de charbon de 16 bougies alimentée par du courant à 110 v, 30 p:s. Eclairement maximum à la distance considérée 4,8 lux; éclairement minimum 4 lux; variation relative (importance de la scintillation) 17 pour 100.

mais que son diamètre est fort inférieur à celui d'une lampe à filament de charbon de même puissance, ce qui compense largement l'avantage précédent. Si on ne considère plus des lampes de puissances égales, mais à filament de diamètres

Fig. 2. — Courbe relative à une lampe à filament de tungstène dans le vide de 25 w, alimentée par du courant à 110 v, 30 p:s. Eclairements maximum et minimum 14,8 et 9,8 lux; variation relative 34 pour 100.

égaux, celle à filament de tungstène est, en effet, beaucoup plus stable en ce qui concerne son éclat.

En dehors des mesures se rapportant à l'intensité lumineuse des lampes à incandescence, l'appareil que nous venons de décrire peut être utilisé à d'autres fins scientifiques ou industrielles, notamment dans les recherches astronomiques, l'étude de la densité des fumées, etc. — B E.

Calcul des caractéristiques et des dimensions des triodes (1).

Le but de l'auteur est d'établir une méthode simple permettant de calculer les dimensions des tubes à vide à trois électrodes; il a coordonné à cet effet les résultats de nombreuses recherches jusque-là épars et d'une utilisation difficile.

1. Calcul des caractéristiques d'après les dimensions et la disposition des électrodes. — La caractéristique la plus importante est celle donnant la valeur du courant de plaque en fonction du potentiel de grille; on la calcule d'après la formule suivante

$$I_a = G e'^{\frac{3}{2}}_g,$$

où I_a est le courant anodique, G, une constante dépendant de la forme et des dimensions de la grille et de la plaque et e'_g, défini par

$$e'_g = \frac{e_a + K e_g}{1 + K},$$

e_a et e_g étant respectivement les potentiels de plaque et de grille et K, le coefficient d'amplification. Ces formules sont valables pour des grilles et plaques cylindriques; l'auteur indique quelles modifications leur apporter dans le cas d'électrodes de formes différentes; en particulier, il montre comment choisir les dimensions effectives des électrodes qui doivent être introduites dans les calculs : dans le cas d'une plaque plane et d'un filament en V par exemple, il ne faut pas prendre comme surface de l'anode la surface totale.

La partie de la caractéristique du courant de plaque correspondant à la saturation est la plus difficile à calculer : si, connaissant la matière dont est formée la cathode et sa température, ainsi que les dimensions et potentiels des autres éléments du tube, il est facile de déterminer la valeur du courant de saturation, une incertitude reste toujours en ce qui concerne le coude supérieur de la caractéristique dont la forme et l'amplitude dépendent de l'inégalité de distribution de la température et des potentiels le long du filament.

Les formules permettant de calculer la valeur du courant de grille sont également rappelées.

Le deuxième point important à connaître est la valeur du coefficient d'amplification K; différentes formules permettant de le calculer ont été établies, suivant que l'on fait usage d'électrodes planes ou cylindriques et suivant la valeur du pas des spires de la grille. Il existe aussi une méthode expérimentale de détermination du coefficient d'amplification K: c'est une méthode électrolytique. Dire que le coefficient d'amplification d'un triode est K signifie que l'influence électrostatique de la grille sur la cathode est égale à K fois celle de l'anode; le champ électrostatique se distribue dans l'espace comme le feraient des filets de courant électrique si cet espace était rempli d'une matière conductrice. Le coefficient d'amplification peut donc être déterminé au moyen d'un dispositif tel que celui de la figure 1

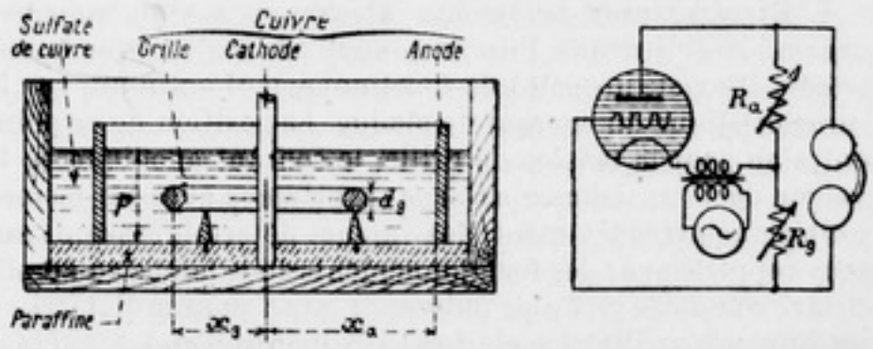


Fig. 1. — Schéma du dispositif adopté pour la détermination du coefficient d'amplification sur un modèle de grille.

dans lequel il suffit de prendre une seule spire de grille. En se servant de ce dispositif et en faisant le rapport de la conductance du circuit de grille et cathode à la conductance du circuit d'anode et cathode, la valeur du coefficient d'amplification sera donnée, après équilibrage du pont, par la relation

$$K = \frac{R_a}{R_g}.$$

(1) Yuziro Kusunose. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, octobre 1929, t. XVII, p. 1706-1749, 8 000 mots, 39 figures, 13 tableaux.

L'expérience montre que la corrélation est satisfaisante entre les résultats obtenus de cette manière et ceux qui sont donnés par les méthodes ordinaires pour des tubes à vide du modèle correspondant.

La pente S de la caractéristique de plaque et le coefficient d'amplification étant connus, on en déduit la résistance interne ρ de la lampe d'après la relation

$$\rho = \frac{K}{S}.$$

2. Détermination des conditions de fonctionnement d'un triode d'après ses caractéristiques statiques. — De nombreuses théories ont été faites relativement à ce point; l'auteur expose une méthode simplifiée permettant d'obtenir simplement une première approximation suffisante pour les besoins de la pratique.

Il adopte comme caractéristique du courant de plaque une courbe simplifiée composée de deux parties seulement : la partie exponentielle et la partie rectiligne correspondant à la saturation, ce qui revient à supprimer le coude supérieur de la caractéristique. De cette façon, tous les triodes ont des caractéristiques identiques si l'on prend soin d'exprimer le courant anodique en prenant le courant de saturation comme unité, et les tensions en prenant comme unité la tension de grille correspondant à la saturation. Si l'on suppose encore que les tensions de grille et de plaque varient sinusoïdalement, que le courant de grille est négligeable et que le circuit de charge inséré dans l'anode ne produit aucune chute de tension pour le courant continu, on peut tracer des caractéristiques dynamiques donnant les composantes continue et alternative du courant anodique pour différentes tensions de fonctionnement. On peut établir également un diagramme donnant la valeur de la résistance externe, la résistance interne étant prise comme unité, et celle de la puissance en fonction de l'unité de puissance rapportée aux unités ci-dessus adoptées pour la tension et le courant. A l'aide de ces différentes caractéristiques il est possible, en se servant de constructions graphiques très simples, de résoudre les problèmes courants se rapportant au fonctionnement d'un tube quelconque en oscillateur ou amplificateur pourvu que l'on ne s'éloigne pas trop des hypothèses indiquées ci-dessus.

3. Etablissement de triodes répondant a des conditions données. — Suivant l'usage auquel on destine une lampe triode, il existe un point de fonctionnement optimum sur la caractéristique du courant de plaque. La position de ce point entraine pour la tension de grille, le courant anodique et la valeur de la résistance externe (exprimées avec les mêmes unités que précédemment) des valeurs déterminées que l'auteur rappelle pour des fonctionnements de la lampe en amplificatrice de forte ou faible puissance, avec ou sans distorsion, modulatrice, oscillatrice, etc. Les trois quantités ci-dessus étant fixées, on obtient directement, d'après le diagramme dynamique, la puissance, l'amplitude des tensions alternatives de grille et de plaque et le courant anodique. A ce moment, la puissance étant fixée en unités ordinaires, il faut décider si on la réalisera en adoptant une forte tension de plaque et une émission électronique faible ou inversement, ce qui revient à choisir entre deux sortes de lampes : les lampes à forte résistance interne et les lampes à faible résistance interne. Ce choix sera décidé d'après des données pratiques, suivant l'appareillage et les commodités dont on dispose. En ce qui concerne la puissance oscillante fournie par la lampe, il faudra lui donner une valeur légèrement supérieure à la valeur fixée pour tenir compte de l'effet du courant de grille, ce qui n'a pas été fait lors de l'établissement des caractéristiques. Le courant de grille affecte la puissance débitée de deux façons : d'abord il réduit le courant anodique, donc le débit; de plus, il absorbe une partie de ce débit dans le cas d'autooscillateurs. Augmenter de 10 à 20 pour 100 la valeur indiquée de la puissance oscillante suffira généralement, suivant que la lampe fonctionne comme amplificateur ou autooscillateur.

Des valeurs précédemment trouvées, on déduit mathématiquement la valeur du coefficient d'amplification et l'on peut alors passer au calcul des dimensions des électrodes.

Le facteur principal qui influence les dimensions de l'anode est la puissance qu'elle doit dissiper; cette puissance est égale à la différence entre la puissance fournie à la plaque et la puissance oscillante.

Dans le cas d'amplificateurs, il faut prendre pour valeur de la dissipation anodique celle qui correspond au point de fonctionnement sur les caractéristiques statiques, car c'est cette perte qui intervient en l'absence de modulation.

Le nombre de watts qui peut être dissipés par centimètre carré de surface de plaque varie avec la matière dont est constituée la plaque et avec le mode de refroidissement adopté.

La surface de la plaque étant fixée, les distances entre électrodes et la construction de la grille se calculent d'après la valeur trouvée pour le coefficient d'amplification.

Il ne reste plus alors qu'à fixer les dimensions du filament pour que celui-ci fournisse l'émission électronique nécessaire en tenant compte des conditions économiques qui peuvent déterminer une durée minimum du tube, ce qui amène à prendre un filament plus développé qu'il ne serait strictement nécessaire; mais ceci offre l'avantage d'avoir en réserve une possibilité d'émission électronique supplémentaire pour compenser après un certain temps la baisse d'émission électronique qui se produit en même temps que le tube vieillit. — F. F.

Propriétés magnétiques des couches minces de nickel et de fer déposées sur supports métalliques (1).

1. Introduction. — Les dépôts de métaux ferromagnétiques réalisés dans le vide à haute température possèdent des propriétés magnétiques qui dépendent de la température du dépôt et de la nature du support. L'auteur vérifie par l'expérience que l'altération de ces propriétés s'explique par la présence, dans le dépôt métallique, d'efforts internes dus au refroidissement.

Les travaux d'Edwards et Miller ont déjà montré que des couches minces de nickel ou de fer, déposées sur divers supports métalliques, présentaient au point de vue magnétique une dureté anormale. L'auteur pense que les propriétés de ces métaux sont en majeure partie dues aux tensions qui s'y produisent lorsque le support se refroidit de la température relativement élevée (100° à 200° C) à laquelle s'effectue le dépôt à la température ambiante à laquelle se font les mesures.

2. Formation des dépôts. — Pour constituer ces dépôts de fer ou de nickel sur un autre métal on dispose d'étroits

(1) J.-H. Howey. *The physical Review*, 1er décembre 1929, t. XXXIV (2e série), p. 1440-1447, 2500 mots, 5 figures et 1 tableau.

rubans de cuivre, de platine, de molybdène ou d'aluminium, parallèlement à un filament fait du métal à déposer et chauffé électriquement. L'ensemble est placé dans un tube de pyrex où est établi un vide très poussé. Des précautions minutieuses sont prises pour éviter la présence de tout gaz dans le métal déposé et un couple thermoélectrique donne à tout instant la température du support pendant l'opération du dépôt. On calcule ensuite, pour chaque support, la valeur et le signe de l'effort imposé à la pellicule métallique par un refroidissement de 100°C. L'épaisseur des pellicules ainsi réalisées varie généralement entre 0,3 et 0,1 μ. On la détermine, soit par pesée, soit par la mesure de l'intensité d'aimantation à la saturation.

3. Mesures des grandeurs magnétiques et commentaires des résultats. — La mesure de l'intensité d'aimantation des dépôts métalliques se fait, après désaimantation dans un champ alternatif décroissant, au moyen d'un magnétomètre à haute sensibilité, du type décrit par Bozorth, mais présentant quelques modifications quant à la disposition des bobines magnétisantes.

1° *Résultats relatifs au nickel.* — Un dépôt de ce métal de 0,425 μ d'épaisseur réalisé à 210° C sur des supports d'aluminium, de cuivre et de molybdène montre que dans ces trois cas le nickel est, magnétiquement, plus dur que s'il est pris en masse importante. Les courbes d'aimantation se rapprochent les unes des autres si on mesure l'intensité d'aimantation à des températures plus élevées que la température ambiante. Il est en effet vraisemblable que les efforts intérieurs diminuant alors dans les dépôts de nickel, leur action sur les propriétés magnétiques tend à s'annuler, rendant ainsi ces dernières indépendantes de la nature du support. La dureté relative des divers échantillons est en parfaite concordance avec la valeur de l'effort calculé pour leurs différents supports.

On remarque que les courbes d'aimantation relatives aux dépôts sur aluminium ont une allure particulière qui laisse croire qu'il se produit dans le nickel des modifications autres que de simples tensions — qui sont ici d'ailleurs des compressions — telles que, par exemple, un bosselage dû à une adhérence imparfaite au support. Cette anomalie doit être d'autant plus accentuée que la couche est plus mince, alors que ce dernier facteur doit être sans influence dans le cas d'un support de cuivre, par exemple, ce que l'on vérifie expérimentalement.

L'étude des modifications corrélatives à un changement dans la température du dépôt — les mesures étant faites à la température ordinaire — montre que pour tous les supports, les dépôts sont d'autant plus doux que cette température est plus élevée. Il y a là peut-être quelque analogie avec le phénomène du recuit.

2° *Résultats relatifs au fer.* — Les dépôts de fer présentent également cette dernière particularité, mais on n'a pu déceler chez eux aucun effet spécial dû à la nature du support. D'une façon générale, les dépôts de fer sont plus doux que ceux de nickel effectués à la même température. Néanmoins, ils se montrent tous deux anormalement durs pour des températures de dépôt de 100 à 200° C.

Vu les précautions prises, cette dureté magnétique ne peut s'expliquer par la présence de gaz occlus dans le métal déposé. Il semble plutôt qu'on doive admettre qu'elle est due à la plus ou moins grande perfection relative de l'état cristallisé de la couche de métal en rapport avec la température à laquelle cette couche est déposée sur son support. — A. A.

Les propriétés des tôles magnétiques (1).

1. Considérations générales. — L'auteur traite des deux plus importantes propriétés des tôles magnétiques, qui sont, pour des inductions données, la perméabilité et les pertes par hystérésis et par courants de Foucault rapportées à l'unité de poids. Certains de ces matériaux pouvant présenter une grande perméabilité maximum, mais pour de faibles inductions, il est plus intéressant de connaître la courbe des variations de l'induction B en fonction du champ H, que celle des variations du rapport $\frac{B}{H}$ avec B.

Pour le calcul des forces magnétomotrices dans les enroulements parcourus par du courant continu, cette courbe est directement utilisable. Il n'en est pas de même pour les enroulements parcourus par du courant alternatif, tels que ceux des transformateurs, par exemple, pour lesquels ce calcul est plus laborieux à cause des variations périodiques de la perméabilité.

Les pertes par hystérésis sont proportionnelles à B^n, la valeur de l'exposant n devant être explicitée plus loin, et à la fréquence des courants d'alimentation. Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence, de l'induction maximum B et du facteur de forme de la tension d'alimentation et inversement proportionnelles à la résistivité de la tôle. Dans l'essai des échantillons, il convient de ne pas perdre de vue en particulier que les pertes par hystérésis dépendent des conditions physiques du métal. Le découpage des bandes les trempe le long de la coupe, ce qui réduit en ce point la perméabilité et y augmente les pertes. Il y a intérêt, en préparant les éprouvettes, à les prévoir larges et composées de peu de tôles, pour une section donnée.

2. Effets de la teneur en silicium. — L'introduction du silicium en faible proportion augmente la perméabilité aux basses inductions et la diminue aux inductions élevées. Les pertes en sont diminuées et le vieillissement en est virtuellement supprimé.

On peut déduire des courbes, les pertes par hystérésis étant de la forme $W_h = kfB^n$, que l'exposant n varie considérablement avec l'induction maximum et avec la teneur en silicium. Un échantillon contenant 4,5 pour 100 de silicium donne $n = 1{,}6$ pour $B = 5\,000$ unités C. G. S., $n = 1{,}8$ pour $B = 10\,000$, $n = 2{,}1$ pour $B = 15\,000$ et $n = 0{,}7$ pour $B = 19\,000$. Un échantillon de même fabrication, mais contenant seulement 1,3 pour 100 de silicium, donne pour n la valeur élevée de 3,7 pour $B = 15\,000$ unités C. G. S., alors que pour $B = 19\,000$ cette valeur tombe à 1,2. Les résistivités des catégories de tôles essayées sont approximativement de 14 microhms-cm pour une teneur nulle en silicium, 28 microhms-cm pour 1,3 pour 100 de silicium, 60 microhms-cm pour 4,5 pour 100 de silicium.

Propriétés mécaniques. — Une trop grande teneur en silicium conduit à une dureté et une fragilité plus grandes. Le découpage et le poinçonnage en sont rendus difficiles. Aux coupes, le métal est arraché et peut casser au poinçonnage de sections étroites, telles qu'aux bases de dents étroites. Il est, d'autre part, absolument essentiel, pour obtenir un haut facteur de foisonnement, que l'épaisseur des tôles soit uniforme sur toute la surface.

3. Circuits magnétiques des transformateurs. — Pour les transformateurs de puissance, pour lesquels les pertes

(1) B.-G. Churcher. *The Electrician*, 29 novembre 1929, t. CIII, p. 659-662, 4 500 mots, 5 figures.

doivent être très réduites, ce sont les tôles contenant environ 4 pour 100 de silicium qui sont presque exclusivement employées, l'usinage ne comportant comme poinçonnage que celui de quelques trous de boulons. Pour les transformateurs de courant, où il est nécessaire d'avoir une très grande perméabilité, pour que, le courant magnétisant étant extrêmement faible, le déphasage entre les courants le soit aussi, les tôles contenant un peu plus de silicium (4,5 pour 100) seront utilisées de préférence et pour des inductions extrêmement basses. Pour les appareils à haute fréquence (alternateurs et transformateurs dans la radiotechnique) il y a intérêt à ce que les tôles de très faible épaisseur soient très régulières et couvertes d'un isolant aussi mince que possible.

4. Propriétés magnétiques des alliages au fer et au nickel. — L'incorporation d'une petite quantité de nickel diminue les qualités magnétiques du fer. A 30 pour 100 de nickel l'alliage est presque non magnétique. Mais si la proportion augmente, les qualités magnétiques réapparaissent. Pour le permalloy à 78,5 pour 100 de nickel les pertes sont remarquablement faibles (à 50 p : s, 0,29 w : kg au lieu de 1,1 w pour les meilleures tôles au silicium). L'alliage à 50 pour 100 de nickel également utilisé, a des propriétés magnétiques moins altérées par l'usinage. — M. R.

Oscillations électroniques (1).

Dans un précédent travail, l'auteur a étudié les oscillations qui accompagnent le mouvement d'un électron se déplaçant uniformément le long d'une ligne droite. La présente étude est relative aux oscillations qui prennent naissance dans un cas très général, celui où l'électron est soumis à l'action d'une force électrique, de telle sorte que sa vitesse et la direction dans laquelle s'effectue son mouvement soient modifiées. La distribution des « sous-électrons » dans l'entourage de l'électron est modifiée par la force électrique et l'oscillation ne se propage plus dans un milieu homogène et isotrope, mais bien dans un milieu dont les propriétés varient de point en point.

Dans ce cas, on peut montrer que les vecteurs électrique et magnétique des oscillations électroniques forment en chaque point un angle droit avec la direction suivant laquelle se déplace l'électron sous l'action de la force électrique. Comme, d'autre part, la direction de propagation des oscillations est perpendiculaire, elle aussi, à ces deux vecteurs, on voit que le déplacement des oscillations se fait dans la direction de propagation de l'électron lui-même.

Le vecteur électrique E et le vecteur magnétique H se trouvent représentés avec une très bonne approximation par les relations

$$E = \frac{A}{q^{\frac{1}{2}}} \cos\left(pt - \frac{p_0}{c^2}\int q\,ds\right).$$

$$H = A' q^{\frac{1}{2}} \cos\left(pt - \frac{p_0}{c^2}\int q\,ds\right).$$

Dans ces formules, ds est un élément du parcours de l'électron et q, la vitesse que possède l'électron lorsqu'il atteint l'élément ds. Cette valeur q n'est pas la vitesse au temps t de l'électron associé au train d'ondes. Les ondes, en effet, se déplacent loin en avant de cet électron et en chaque point P, q a une valeur déterminée qui ne change pas lorsque l'électron approche de ce point. Lorsqu'il l'atteint, sa vitesse devient égale à q.

Si le parcours de l'électron n'est pas une courbe fermée, l'existence des oscillations électroniques n'introduit aucune nouvelle condition et tout circuit semblable peut être parcouru par l'électron lié aux oscillations. Par contre, si le trajet de l'électron est un contour fermé, les conditions changent : les vecteurs magnétique et électrique doivent accomplir le tour complet du contour. Si donc nous nous reportons aux valeurs précédemment données pour E et H, nous aurons, en appelant S le périmètre du contour.

$$\frac{p_0}{c^2}\int_0^S q\,ds = 2\pi n,$$

n étant un nombre entier. Seules les courbes qui satisferont à cette relation seront des parcours possibles pour l'électron lié aux oscillations. Cette condition conduit d'ailleurs aux mêmes résultats que ceux que l'on tire habituellement de la mécanique quantique.

Lorsque le trajet de l'électron ne s'effectue pas le long d'une courbe fermée, il y a émission d'énergie, sauf dans le cas où le vitesse est uniforme. Dans le cas contraire, l'électron se déplaçant sur un contour fermé, l'énergie des oscillations se déplace, en quelque sorte, le long de ce contour sans jamais se modifier et il n'y a pas émission d'énergie.

L'auteur applique, en dernier lieu, son calcul à l'étude de la distribution des oscillations électroniques lorsqu'un électron traverse un cristal. — A. A.

(1) J.-J. Thomson. *The philosophical Magazine*, décembre 1929, t. VIII (7e série), p. 1073-1092, 4000 mots.

Utilisation des très hauts potentiels à l'alimentation des tubes à vide (1).

Il n'a pas été procédé à de véritables essais de fonctionnement de tubes à rayons cathodiques, car les expériences ont montré qu'au point de vue de l'amorçage d'arcs, un tel tube se comporte de la même façon, qu'il soit muni ou non de sa cathode chaude.

Le premier type de tubes employé correspond exactement à celui décrit il y a quelques années par Coolidge. C'est un tube dit en « cascade », constitué par un tube à boules dans lequel sont placées plusieurs électrodes. Ces dernières sont faites de tronçons de tubes de cuivre disposés selon l'axe du tube. Chacun d'eux est placé entre deux boules consécutives de sorte que leurs extrémités soient à peu près au centre des boules, en regard de celle de l'électrode suivante. La répartition du potentiel entre ces électrodes est assurée par un potentiomètre, simple colonne d'eau salée comportant des prises équidistantes reliées chacune à une électrode du tube. L'ensemble tube et potentiomètre est plongé dans la cuve à huile d'un dispositif de Tesla. Un tube à quinze sections a ainsi pu être alimenté sous 1 million de volts sans aucun amorçage d'arcs. Il faut noter qu'il y a ici une sorte de formation du tube, dont le processus est absolument analogue à celui de l'huile.

De bons résultats ont été également obtenus en utilisant un tube sans électrodes sphériques, placé entre une des boules du Tesla et une électrode reliée au sol. Les tubes Coolidge ordinaires se sont, par contre, montrés tout à fait incapables de supporter des tensions de plus de 400 000 v et par suite d'être utilisés avec l'appareil décrit ici. — A. A.

(1) M.-A. Tuve, G. Breit et L.-R. Hafstad. *The physical Review*, 1er janvier 1930, t. XXXV (2e série), p. 66-71, 1500 mots, 4 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Les nouvelles stations de radiodiffusion françaises d'Alger et de Strasbourg-Brumath

Le statu quo imposé par décret depuis deux ans aux stations françaises de radiodiffusion ajourne leurs possibilités d'extension et l'augmentation de leur puissance. La voix de la France se fait entendre d'autant plus difficilement dans les limites du territoire national, et à fortiori hors de nos frontières, que les stations étrangères accroissent considérablement leur rayon d'action. La Grande-Bretagne possède trois stations de 30 kilowatts dans l'antenne ; l'Allemagne, une station de 15 et une de 35 kilowatts, sans compter d'autres stations plus puissantes en construction ; l'Italie, une de 50 kilowatts ; la Norvège et la Suède, chacune une station de 60 kilowatts. De nombreux pays projettent des émetteurs plus importants. Dans ces conditions, le prestige et la propagande française ont rendu nécessaire l'établissement de deux stations puissantes : l'une qui a été inaugurée le 19 novembre 1929, à Alger ; l'autre qui entrera en service l'été prochain, à Strasbourg. L'auteur a rassemblé dans cet article la documentation technique relative à ces deux stations françaises de radiodiffusion.

I. La nouvelle station de radiodiffusion d'Alger

I. **Considérations générales.** — Le Commissariat du Centenaire de l'Algérie, qui vient de prendre toutes les mesures destinées à augmenter l'attrait de notre belle province d'Afrique du Nord, n'a pas cru pouvoir mieux faire que de la doter d'une station de radiodiffusion. Un poste existait déjà à Alger depuis quelques années ; mais sa puissance de 1 kw dans l'antenne limitait beaucoup son rayonnement et sa portée. La nouvelle station qui vient d'être inaugurée officiellement le 19 novembre 1929 par M. Pierre Bordes, gouverneur général de l'Algérie, possède une puissance de 100 kw à l'alimentation et de 13 kw dans l'antenne. C'est donc la station française la plus puissante à l'heure actuelle et la plus moderne.

Parallèlement se poursuit l'établissement de nouvelles communications radioélectriques à ondes courtes projetées. Le programme en cours d'exécution comprend notamment des liaisons radiotéléphoniques bilatérales publiques entre la France et l'Algérie, destinées à relier les réseaux téléphoniques avec fil de France et d'Algérie. L'émetteur et le récepteur algériens seront installés respectivement à Boufarik et à Sidi-Moussa. L'Algérie sera également dotée de liaisons radioélectriques bilatérales des départements algériens entre eux et avec les protectorats limitrophes.

II. **L'ancienne station d'Alger.** — Cette station a été fondée à l'instigation d'un groupe d'amateurs « L'Amicale du Poste Radio-P. T. T.-Alger, du Gouvernement général », constitué le 15 mars 1926. Au début, les émissions furent assurées au moyen d'un poste de 50 w installé à l'Hôtel central des Postes, dont la portée était notoirement insuffisante dans ce pays à faible densité de population. Grâce à une active propagande, « l'Amicale » réussit à obtenir les fonds nécessaires pour installer un émetteur de 1 kw dans l'antenne.

Cette station comprend un émetteur en trois cabines affectées respectivement à l'alimentation, à la modulation et à l'oscillation. L'énergie est fournie par un groupe moteur-générateur, comprenant un moteur asynchrone accouplé à deux génératrices de 2 000 v couplées en série, d'une puissance de 5 kw, et à une génératrice de 1 500 v d'une puissance de 350 w (fig. 1).

Les premières génératrices fournissent la tension de plaque des lampes d'émission ; la seconde, la tension de plaque des lampes de prémodulation, type E 4.

Les accumulateurs de 8 v et 180 a-h pour le chauffage des lampes de modulation et l'excitation sont chargés par une génératrice de 12 v, 20 a et la batterie de 320 v, par une génératrice de 200 w à 400 v. Ces deux génératrices sont entraînées par un moteur asynchrone.

La batterie de 320 v est destinée à l'alimentation des lampes modulatrices et prémodulatrices. Celle de 8 v fournit le chauffage des lampes de modulation.

La batterie d'accumulateurs qui assure le chauffage des lampes d'émission est chargée par un groupe comprenant un moteur asynchrone entraînant une génératrice de 35 v, 90 a.

Le jeu d'un simple commutateur permet la mise en fonctionnement de tout le poste, au moyen de contacteurs automatiques complétés par une signalisation lumineuse.

En cas d'accident, rupture du filament d'une lampe, augmentation anormale du courant de chauffage d'une lampe, mauvais fonctionnement d'un organe, des disjoncteurs arrêtent la marche du poste et des lampes témoins indiquent, par leur allumage, la localisation du défaut. Pour éviter les accidents du personnel, des contacteurs placés aux portes des cabines coupent automatiquement le courant lors de l'ouverture de ces portes.

L'énergie électrique est fournie à la station par un poste de transformation de 20 kv-a.

Les bâtiments de la station sont établis sur une éminence dominant le Jardin d'Essai, à 8 km environ du centre d'Alger.

Un réseau métallique de câbles de cuivre parallèles, enfouis dans le sol et réunis entre eux électriquement par des conducteurs transversaux, constitue la prise de terre.

Deux pylônes métalliques, de 50 m de hauteur et espacés de 70 m, supportent l'antenne (fig. 2). La longueur d'onde des émissions a été fixée à 352,9 m par la répartition dite « plan de Bruxelles ».

La station est reliée à l'auditorium, situé au centre d'Alger, par un câble souterrain, prolongé par une ligne aérienne à quelques centaines de mètres de la station.

Fig. 1. — Salle des machines de l'ancienne station d'Alger.

III. **La station du Centenaire de l'Algérie.** — La nouvelle station, dont la construction a été décidée et entreprise depuis plus de deux ans, s'élève à une vingtaine de kilomètres d'Alger, dans la plaine de la Mitidja, au lieu dit Les Eucalyptus, sur la route de l'Arba.

La documentation que nous publions ci-dessous nous a été fournie obligeamment, en partie par l'Amicale de Radio-Alger, qui exploite la station, en partie par la Société française radioélectrique, à qui a été confiée sa construction et qui en a donné une étude technique approfondie dans un récent bulletin (1).

1. Installation de l'auditorium. — La nouvelle station de Radio-Alger doit encore utiliser l'ancien auditorium.

(1) *Bulletin de la Société française radioélectrique*, novembre 1929, t. III, p. 200-213.

Une installation moderne et vaste est en préparation à la Salle des Fêtes d'Alger : elle pourra contenir plusieurs centaines d'exécutants.

Les microphones, du type à charbon S. F. R. Reiss, sont dépourvus de plaque vibrante. La masse de charbon, très hétérogène, est sensiblement apériodique dans la gamme des fréquences musicales des vibrations sonores qui viennent la frapper directement.

La salle de contrôle est pourvue d'un pupitre de distribution, rassemblant les contacteurs des différents microphones, ainsi que les dispositifs de mélange de circuits et de réglage de l'intensité du son.

Chaque circuit microphonique est relié à un panneau particulier du pupitre, muni d'une clé de signalisation, de lampes d'appel et d'un jack de connexion. Grâce à cette clé, on peut actionner un signal sonore réclamant le silence dans l'auditorium, puis mettre en service le microphone et l'amplificateur microphonique. Une lampe s'allume alors dans l'auditorium pour témoigner que le microphone est en circuit.

La manœuvre d'un bouton et de jacks permet de combiner deux ou plusieurs circuits microphoniques et de modifier les intensités relatives de la modulation dans ces circuits. Ce « mélange » est mis à profit surtout lors des auditions dramatiques ou lyriques, pour introduire des bruits de scène et régler la valeur de ce « décor de bruits », indépendamment du jeu des acteurs.

Bien entendu, le dispositif de mélange peut intéresser un ou plusieurs circuits desservant des reproducteurs phonographiques.

En outre, l'intensité du son de l'ensemble de l'exécution peut être graduée au moyen d'un potentiomètre, soit sur un circuit unique, soit sur la totalité des circuits « mélangés ». Ce réglage est effectué par un opérateur spécialement affecté au contrôle de l'intensité de la modulation et qui veille à ce qu'elle se maintienne à la valeur convenable. A cet effet, l'amplitude du signal est indiquée par un voltmètre à cadre mobile, alimenté par un redresseur branché directement sur la ligne. Ce redresseur, du type sec à pastilles de cuivre et oxyde de cuivre, a un débit suffisamment faible pour qu'il reste indépendant de la fréquence dans la gamme des fréquences requises. Cet appareil, qui pos-

sède quatre sensibilités (1,5 ; 3 ; 15 et 150 v) est très suffisamment précis pour assurer ce contrôle.

Les quatre étages de l'amplificateur microphonique sont ainsi constitués : le premier possède un triode à résistance intérieure élevée avec coefficient d'amplification de 25 environ ; les second et troisième étages utilisent des triodes de moindre impédance, avec coefficient d'amplification plus faible. Au quatrième étage sont disposés en dérivation 4 triodes de faible impédance. Ces lampes sont toutes à forte émission électronique spécifique (lampes à oxyde). Leur puissance de dissipation varie de 10 à 13 w en régime permanent.

La liaison entre le circuit microphonique et l'amplificateur est constituée par un transformateur. La liaison entre le premier et le deuxième étages est opérée par une résistance dans le circuit de plaque, avec capacité et potentiomètre sur le circuit de grille. Les étages suivants sont couplés de même, avec cette différence que le potentiomètre ne subsiste qu'au dernier étage.

Le départ vers la ligne est obtenu au moyen d'un transformateur complété par une inductance de choc et un condensateur. Ce filtre arrête le passage du courant continu à travers l'enroulement primaire du transformateur.

L'emploi de quatre triodes de faible impédance associés en parallèle permet l'usage d'un transfor-

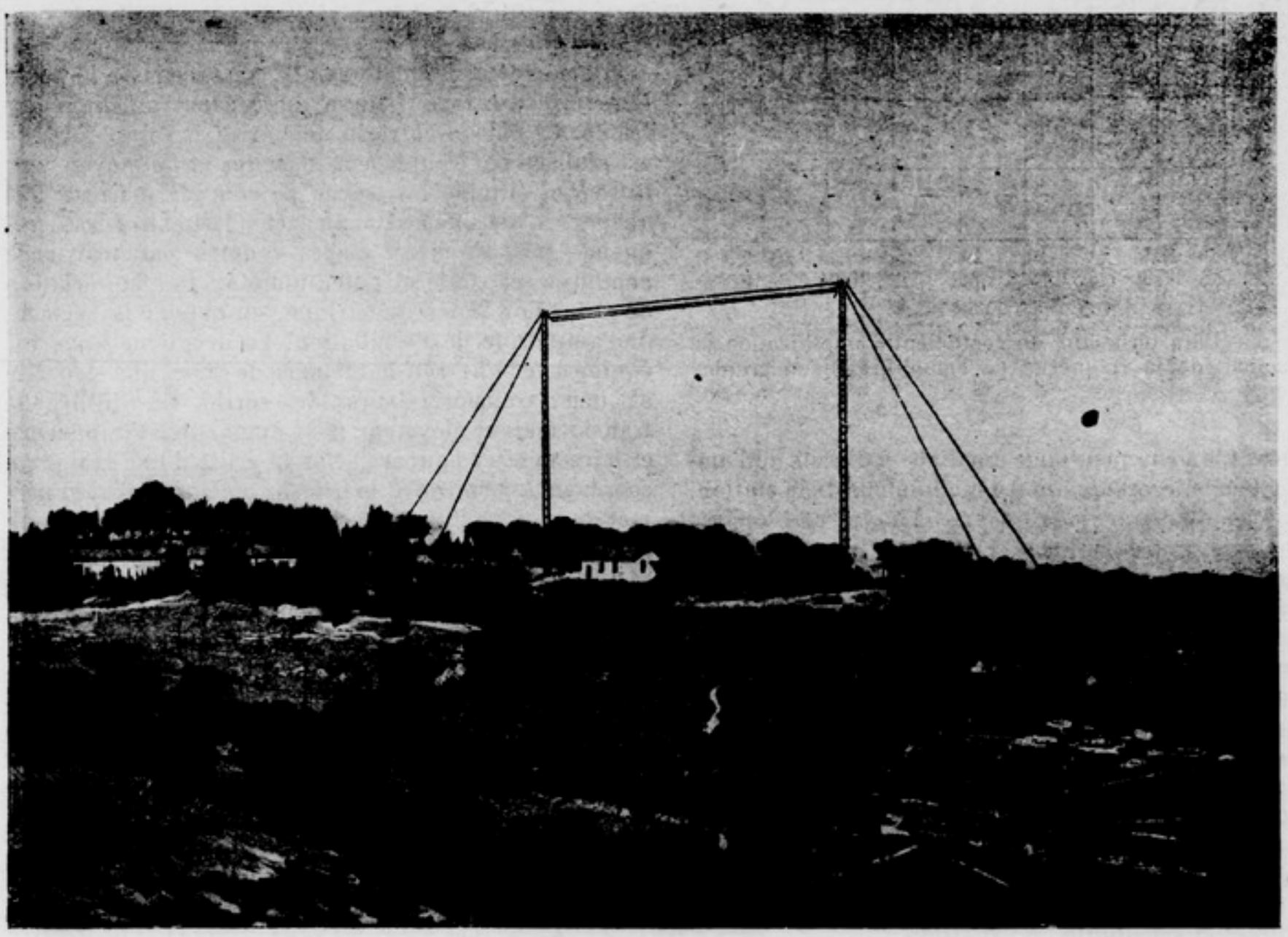


Fig. 2. — Vue de l'antenne de l'ancienne station d'Alger.

mateur de sortie de faible rapport et dont l'impédance secondaire ne dépasse pas 600 ohms.

La caractéristique de l'amplificateur microphonique est indiquée sur la figure 3. Les amplitudes de vibration en ordonnées sont évaluées par coefficient d'amplification en volts ; les fréquences en abscisses sont indiquées suivant une échelle logarithmique. La caractéristique peut être déformée par la modification du transformateur de sortie. Celle reproduite ici a été relevée pour les fréquences élevées, afin que soit compensé leur affaiblissement sur la ligne.

On opère le contrôle acoustique de l'émission soit sur l'amplificateur microphonique, soit sur un récepteur spécial.

Un agencement ad hoc permet de brancher instantanément un casque téléphonique sur un étage d'amplification quelconque sans déranger la transmission. L'introduction de shunts convenables dans les circuits de filament et plaque réduit l'intensité du son dans le casque à une valeur à peu près indépendante du rang de l'étage (fig. 4).

Pour transmettre les manifestations qui ont lieu

en dehors de l'auditorium, on a prévu un amplificateur microphonique portatif dont le montage est le suivant. Il comporte quatre étages, dont les trois premiers à résistances. Le dernier est pourvu d'une inductance de choc et d'un transformateur et possède deux triodes associés en parallèle. Son transformateur d'entrée a été étudié spécialement pour être alimenté par le microphone utilisé.

Suivant les nécessités de la transmission, on emploie l'un des deux transformateurs de sortie qui ont été

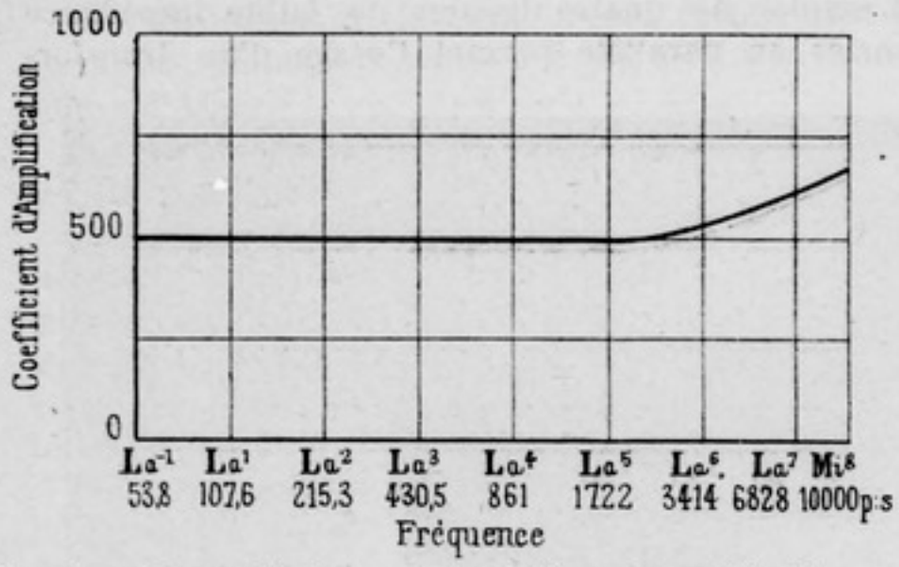


Fig. 3. — Caractéristique du coefficient d'amplification en fonction de la fréquence de l'amplificateur microphonique.

prévus. L'un convient pour une liaison directe de l'amplificateur microphonique au modulateur de la station, au moyen de connexions courtes. L'autre sert lorsque la distance entre la scène à transmettre et le poste exige l'emploi d'un câble ou d'une longue ligne téléphonique.

Le contrôle de la transmission est effectué par l'écoute sur un récepteur du type à changement de fréquence (superhétérodyne), dont les circuits à moyenne fréquence sont établis pour le passage d'une gamme de fréquences de 19 000 périodes par seconde avec peu d'affaiblissement. L'amplification à basse fréquence de ce récepteur a été spécialement améliorée. Le collecteur d'ondes est un cadre orientable à amortissement variable, ce qui permet de faire varier la qualité et la sensibilité de l'audition.

Pour opérer un contrôle acoustique des appareils, on dispose, en outre, dans l'auditorium, d'un générateur à basse fréquence susceptible d'osciller et d'induire dans les circuits à vérifier des tensions variables dont la fréquence peut être réglée entre 0 et 10 000 périodes par seconde. Grâce à ce générateur, il est facile de faire des expériences longues ou répétées, alors que l'écoute des transmissions effectuées ne permet que de brèves observations.

Les ondes à basse fréquence de ce générateur sont obtenues par deux hétérodynes couplées, dont les battements d'interférence sont détectés et amplifiés. Le réglage, pour plus de simplicité, ne porte que sur l'une des deux hétérodynes. La fréquence de l'autre reste constante.

C étant la capacité totale du circuit oscillant de l'hétérodyne réglable et Δc la variation de capacité correspondant au battement de l'hétérodyne, la variation relative de capacité doit toujours rester faible pour ne pas altérer l'ordre de grandeur des constantes électriques du circuit. Autrement dit, la valeur maximum de ce rapport $\left(\frac{\Delta c}{C}\right)_{max}$, correspondant à la note la plus élevée du battement suraigu à 10 000 périodes par seconde, doit toujours être négligeable, ceci pour éviter de grandes variations dans l'amplitude des battements. Cette condition doit être réalisée pour qu'il soit possible d'effectuer des mesures rapides et comparables.

Pour détecter les battements, on se sert de la courburé de la caractéristique du courant anodique du triode. La liaison entre la détectrice et l'amplificateur est réalisée par couplage à capacités et au moyen d'un filtre qui élimine les traces de courant à haute fréquence. L'amplificateur du générateur à basse fréquence possède deux étages couplés par résistance anodique, capacité et potentiomètre. Par la variation de la tension potentiométrique, on obtient le réglage, de l'amplitude de l'oscillation. Le deuxième étage est équipé avec une self-inductance de choc, une capacité et deux transformateurs de sortie. On utilise le transformateur élévateur pour augmenter l'impédance et faire débiter l'appareil sur la grille d'une lampe de couplage. Au contraire, le transformateur abaisseur permet de réduire l'impédance à 600 ohms dans le cas où il s'agit de vérifier une ligne dépourvue d'accessoires.

Comme toutes les stations modernes, celle d'Alger ne saurait se passer d'un reproducteur phonographique. L'appareil possède deux plateaux à disques, commandés par des moteurs indépendants. Une signalisation analogue à celle des microphones est utilisée lors des reproductions. Il existe en outre un reproducteur de rechange, prêt à parer à tous les dérangements.

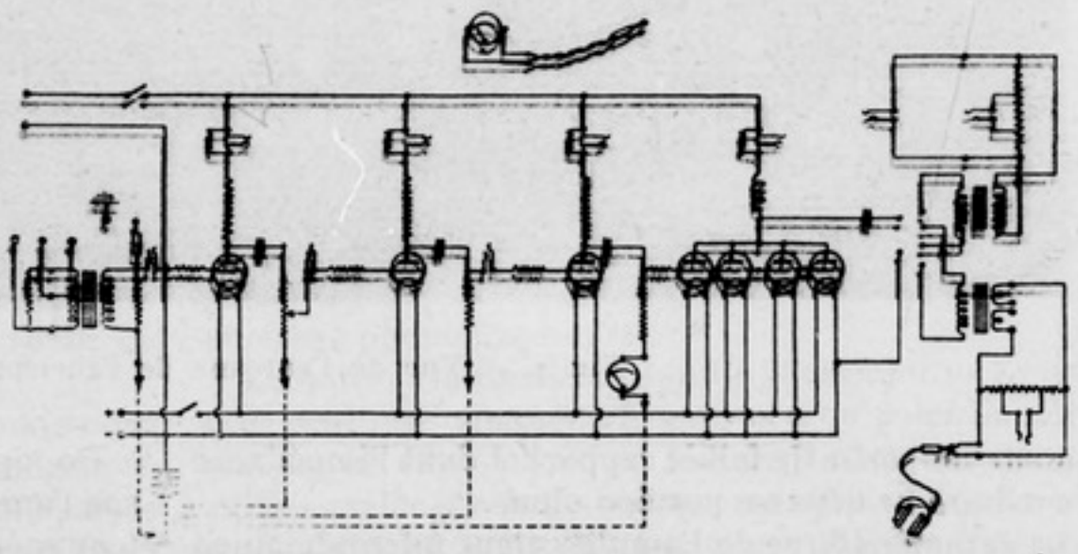


Fig. 4. — Schéma de principe de l'amplificateur microphonique.

2. Poste émetteur. — Le poste émetteur proprement dit comporte les circuits de modulation et les circuits

d'émission, disposés conformément au schéma de principe de la figure 5. L'amplificateur de ligne, le compensateur et l'ensemble modulateur constituent les circuits de modulation.

Les circuits d'émission comprennent, outre les générateurs et amplificateurs à haute fréquence non modulée, avec le maître oscillateur et les deux premiers amplificateurs, les circuits à haute fréquence modulée, avec les étages amplificateurs de puissance qui alimentent l'antenne.

La répartition de ces différents circuits est indiquée sur le plan du bâtiment d'émission (fig. 6).

Nous allons suivre le trajet de la modulation, depuis l'amplificateur microphonique jusqu'au poste d'émission proprement dit, à travers le modulateur.

La modulation, issue de la ligne téléphonique ou du

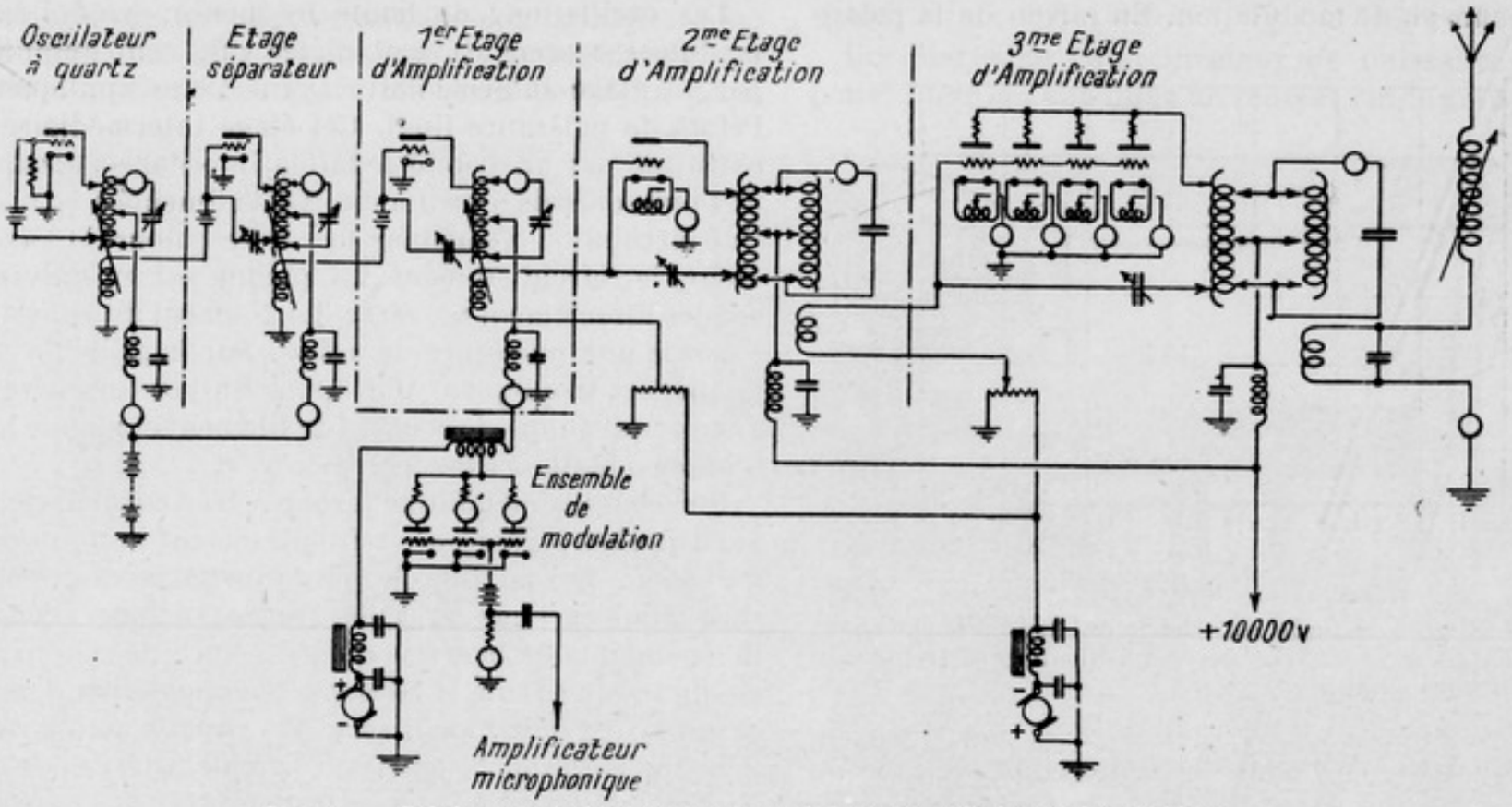


Fig. 5. — Schéma de principe du nouvel émetteur de la station d'Alger.

câble qui relie l'amplificateur microphoniquc au poste d'émission, est dirigée sur un correcteur et un amplificateur de ligne. Cet ensemble est une ligne artificielle, dont les caractéristiques variables peuvent être réglées de manière à compenser les affaiblissements et les déformations de la plupart des lignes téléphoniques

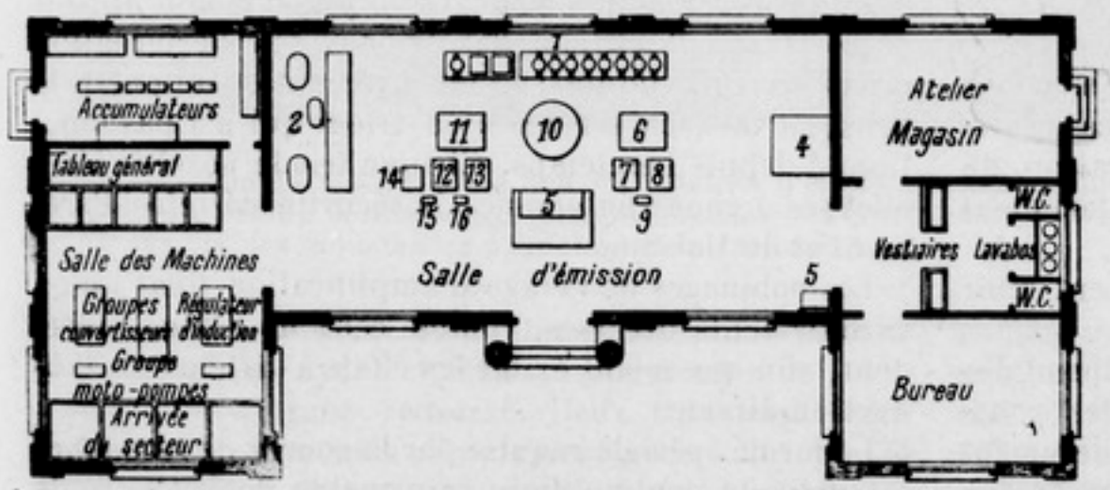


Fig. 6. — Plan du bâtiment d'émission de la nouvelle station d'Alger.

usuelles. On règle le correcteur de manière à faire varier en sens inverse l'affaiblissement de la ligne artificielle et celui de la ligne réelle. On cherche à obtenir la même fréquence et la même valeur absolue de l'affaiblissement.

L'amplificateur de ligne possède quatre étages et est couplé au correcteur par un transformateur dont l'impédance primaire est de 600 ohms. Entre les divers étages, la liaison est établie par résistances et capacité. Le premier étage est équipé avec un triode à grand coefficient d'amplification. Les deux étages suivants sont pourvus de lampes à coefficient d'amplification moyen ; leur impédance est également moyenne. Sur le dernier étage ont été montés en dérivation deux triodes de faible impédance, dont les filaments à forte émission électronique peuvent supporter en ordre de marche des dissipations de puissance de 10 à 13 w : mm².

La résistance de couplage du quatrième étage d'amplification est constituée par un potentiomètre, dont la sortie est munie d'une self-inductance de choc. Le degré d'amplification convenable est obtenu en agissant simultanément sur ce potentiomètre et sur un autre précédant la lampe d'entrée. La caractéristique indiquant la valeur de l'amplitude en fonction de la fréquence de l'amplificateur d'arrivée est donnée par la figure 7.

Trois triodes de faible impédance, montés sur un des étages d'amplification à haute fréquence de l'émetteur,

reçoivent la modulation et sont couplés sur le circuit de filament et plaque de l'amplificateur par une self-inductance de choc fonctionnant en autotransformateur. Grâce à l'adaptation d'un circuit sur l'autre, le taux de modulation est augmenté et peut atteindre pratiquement 100 pour 100.

Les appareils de contrôle, ampèremètre des circuits de plaque des triodes modulateurs et microampèremètre branché dans le circuit des grilles, sont placés sur le panneau de modulation. En raison de la polarisation négative des grilles, la composante continue du courant de grille est nulle et ce microampèremètre doit rester au zéro en ordre de marche.

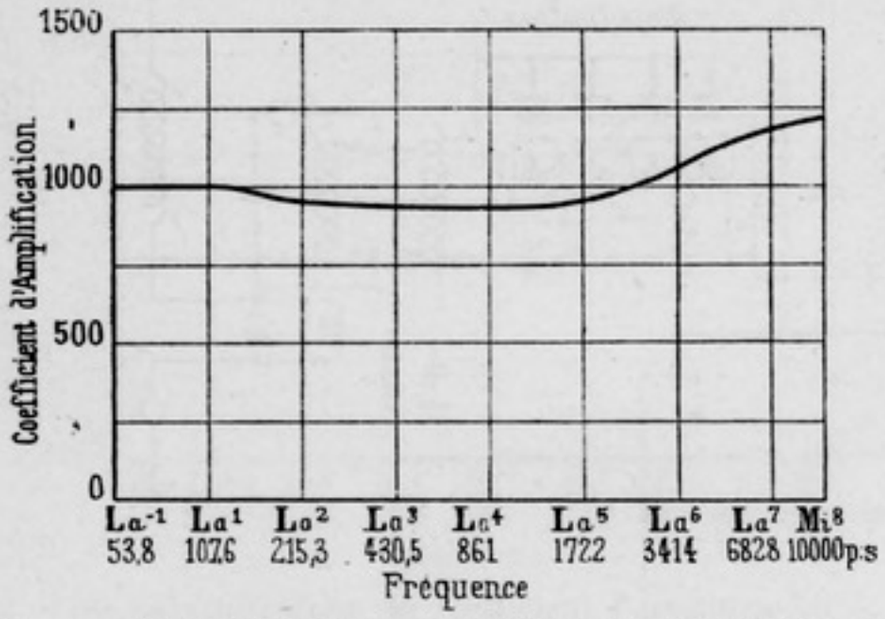


Fig. 7. — Caractéristique du coefficient d'amplification en fonction de la fréquence de l'amplificateur d'arrivée du courant microphonique.

L'émetteur proprement dit se compose de circuits générateurs d'oscillations et de circuits à haute fréquence modulée.

Sur l'amplificateur de modulation est placée une lampe triode excitée par un maître oscillateur à quartz piézoélectrique, auquel elle est reliée par un étage tampon. La puissance de dissipation de cette lampe est de 30 w; toutefois, la puissance appliquée à l'anode est d'ordinaire inférieure à 35 w.

On sait l'importance de la stabilité des émissions radioélectriques, en particulier de la constance de fréquence des stations de radiodiffusion en raison du grand nombre de postes transmettant simultanément sur des longueurs d'onde voisines.

Or, la fréquence d'émission d'une station peut subir des variations statiques et dynamiques.

La variation statique de fréquence, qui dépend des conditions de réglage et des variations des constantes des circuits et de l'antenne, est particulièrement difficile à écarter, du fait qu'elle peut survenir à l'improviste et causer des troubles par interférence avec les autres émissions.

La variation dynamique de fréquence résulte de la réaction des variations de la tension de plaque sur le maître oscillateur, provenant de la modulation.

La station de radiodiffusion d'Alger évite ce double inconvénient en utilisant un cristal de quartz, placé dans un thermostat qui maintient constante sa température. Pour annuler les réactions possibles des circuits, un étage amplificateur auxiliaire de coefficient égal à l'unité est intercalé en tampon entre le maître oscillateur et l'étage amplificateur modulé. L'alimentation du maître oscillateur et de l'étage tampon est indépendante des autres circuits d'alimentation et réalisée par une batterie de 8 v pour le chauffage et par une batterie de 200 v pour les plaques.

Les oscillations de haute fréquence, produites et modulées comme il vient d'être dit, sont amplifiées par un étage intermédiaire avant d'être appliquées à l'étage de puissance final. Cet étage intermédiaire est constitué par un triode à faible impédance dissipant une puissance de 5 kw lorsqu'il est alimenté à 10 000 v. Une circulation d'eau dans une cuve entourant l'anode assure le refroidissement. La plaque est en cuivre et soudée directement au verre Le filament de tungstène absorbe une puissance de 1 kw. Sur la grille de cette lampe est appliquée une polarisation négative de 1 000 v, qui annule le courant de filament et plaque pour une tension anodique de 10 000 v.

Un châssis métallique groupe les condensateurs, ainsi que les organes de refroidissement et de sécurité de l'étage. Les bobines de self-inductance, extérieures, sont montées l'une près de l'autre sur des supports indépendants de manière qu'à distance, le champ magnétique dû à l'une d'elles soit compensé par l'autre, ce qui évite l'induction directe des circuits oscillants.

L'amplification de puissance finale est réalisée par quatre triodes placés en parallèle (fig. 8). Refroidis par circulation d'eau, ils peuvent dissiper, au régime statique, 5 à 6 kw sans précautions spéciales. Le filament en tungstène consomme 0,8 kw en ordre de marche. Ces quatre triodes sont groupés sur un bâti de fonte en forme de tourelle, qui renferme tous les organes accessoires.

Cette tourelle à six pans peut recevoir deux triodes supplémentaires qui servent de rechange et sont toujours prêts à fonctionner, car l'on prend soin d'utiliser successivement chacun des triodes par permutation circulaire. On évite ainsi les inconvénients résultant de la brusque mise en service d'un triode qui n'a pas fonctionné depuis longtemps. Chaque triode possède à cet effet ses organes autonomes de sécurité, de refroidissement et de liaison.

Les bobinages de l'étage d'amplification final sont à enroulements inverses, comme ceux de l'étage précédent, afin que soient évités les effets à distance de l'induction directe.

La forme spéciale requise par la courbe de résonance est obtenue par un choix convenable des valeurs de l'inductance et de la capacité pour ce circuit final et pour le circuit d'antenne. L'antenne est couplée inductivement au dernier étage d'amplification. Sur l'inductance de couplage est placé en dérivation un condensateur de capacité assez élevée, qui sert de shunt pour la filtration des harmoniques supérieurs de l'émission et évite leur radiation.

3. Le système antenne et terre. — L'antenne de la station d'Alger est tendue entre deux mâts métalliques quadrangulaires haubanés, de 75 m de hauteur. Sa forme est celle d'un prisme triangulaire dessiné par les trois conducteurs de sa nappe borizontale, aboutissant aux sommets des mâts, d'un côté à un amarrage fixe, de l'autre à trois treuils indépendants, de telle sorte qu'une avarie survenue à l'un des fils n'empêche pas la station de transmettre sur les deux autres (fig. 9).

La prise de terre est essentiellement constituée par une bande de cuivre épaisse et large établissant une connexion électrique entre les bases des deux mâts. Sur cette bande de cuivre sont soudés des fils de cuivre disposés transversalement. L'ensemble de ce réseau présente la forme d'une arête de poisson, qui aurait 80 m de longueur et 55 m de largeur environ. Ce réseau est enterré à une profondeur de 30 cm.

4. Circuits d'alimentation et circuits auxiliaires. — Les circuits d'alimentation de la station d'Alger comportent des appareils statiques et des machines rotatives.

Les étages de l'amplificateur de puissance exigent pour la tension anodique un redresseur de grande capacité. Ce redresseur est un système hexaphasé pourvu de douze diodes ayant chacun une puissance de 4 kw évaluée en courant redressé. Deux transformateurs hexaphasés, alimentés directement sous 500 v par le réseau triphasé et ayant une puissance de 60 kv-a, desservent à basse et à haute tension ces diodes, chacun d'eux correspondant à l'une des six phases des transformateurs. Les circuits secondaires à basse tension assurent directement en courant alternatif le chauffage des filaments qui consomment chacun 325 w. Les diodes se refroidissent naturellement dans l'air.

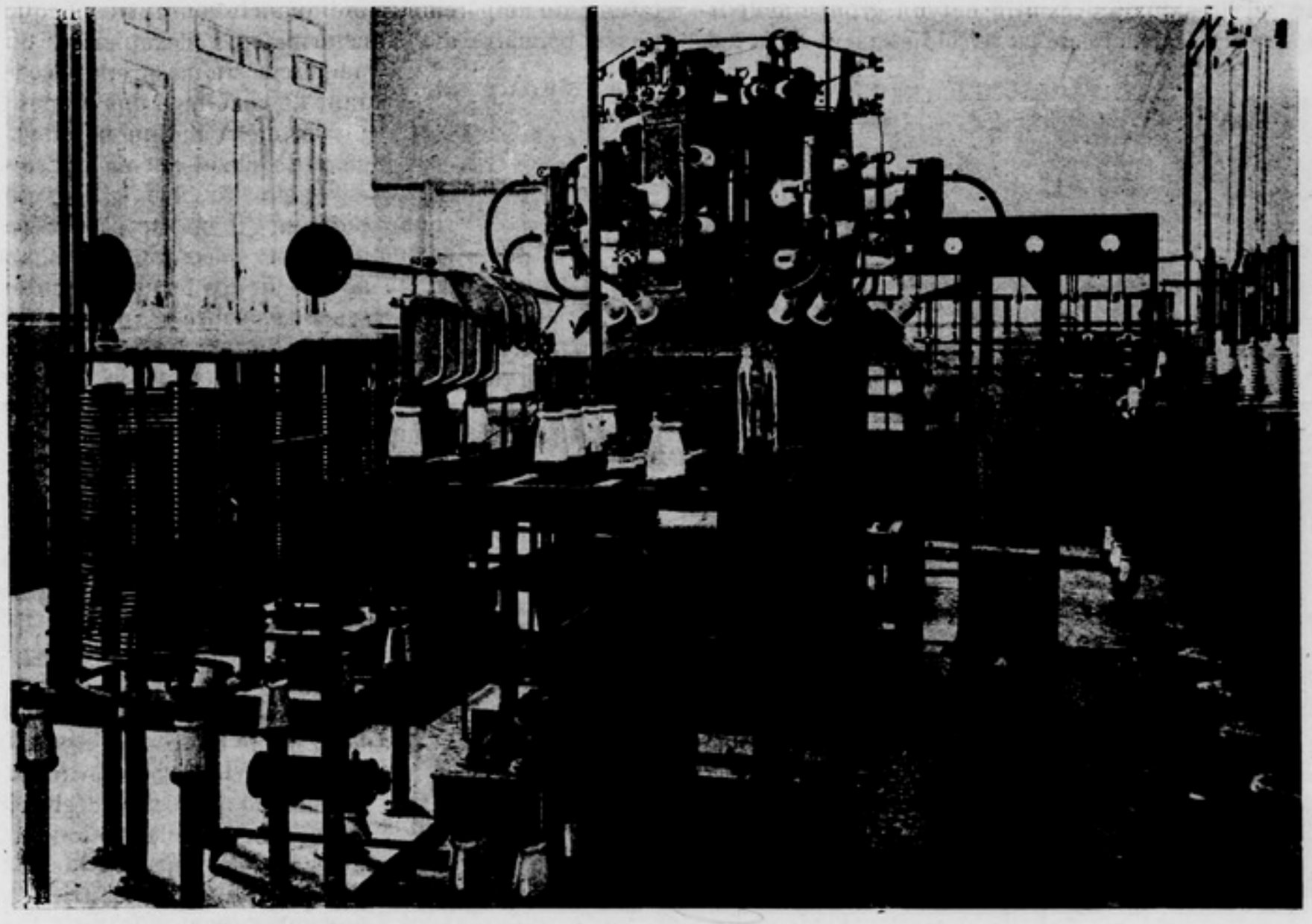


Fig. 8. — Salle d'émission de la nouvelle station d'Alger : au centre, tourelle supportant les lampes refroidies par circulation d'eau du dernier étage d'amplification à haute fréquence modulée ; au fond à droite, le meuble de redressement ; à gauche, les inductances d'antenne et le variomètre de couplage.

On peut obtenir toute tension redressée dans la gamme de 8 000 à 12 500 v, par variation absolument continue au moyen d'un régulateur d'induction intercalé sur le primaire des transformateurs élévateurs.

La filtration du courant redressé est assurée par une cellule de filtres électriques en forme de H, constituée par un système de condensateurs et de self-inductances. L'affaiblissement de ce filtre est suffisant pour annuler les bruits parasites créés par les ondulations de tension.

Les circuits d'alimentation sont complétés par deux groupes convertisseurs pour la charge des accumulateurs de chauffage et de tension anodique des étages de commande et de l'amplificateur de ligne.

Un autre groupe est constitué par un moteur, la dynamo pour la tension anodique des ensembles de modulation, la dynamo pour la polarisation de grille et la dynamo de 12 v pour le chauffage des ensembles de modulation et de l'amplification modulée, ainsi que pour l'excitation des deux autres machines. La dynamo de polarisation a une puissance de 2,5 kw et donne 1 200 v aux bornes. Le courant qu'elle débite sur deux potentiomètres alimentant chacun l'un des étages amplificateurs de puissance est filtré à travers une cellule en forme de H. Ces potentiomètres permettent d'assurer la variation continue de la tension de polarisation.

Les services auxiliaires utilisent un groupe moteur-compresseur à air, affecté au refroidissement de la collerette des triodes de puissance, et un groupe moteur-pompe pour l'alimentation du réservoir, d'où s'écoule dans un puisard, par gravité à travers un serpentin en caoutchouc, l'eau servant au refroidissement des lampes à grande puissance. La pompe s'alimente dans ce puisard. Le groupe est commandé par un système de niveaux d'eau et de relais électriques. La réfrigération des triodes consomme environ 40 litres par minute.

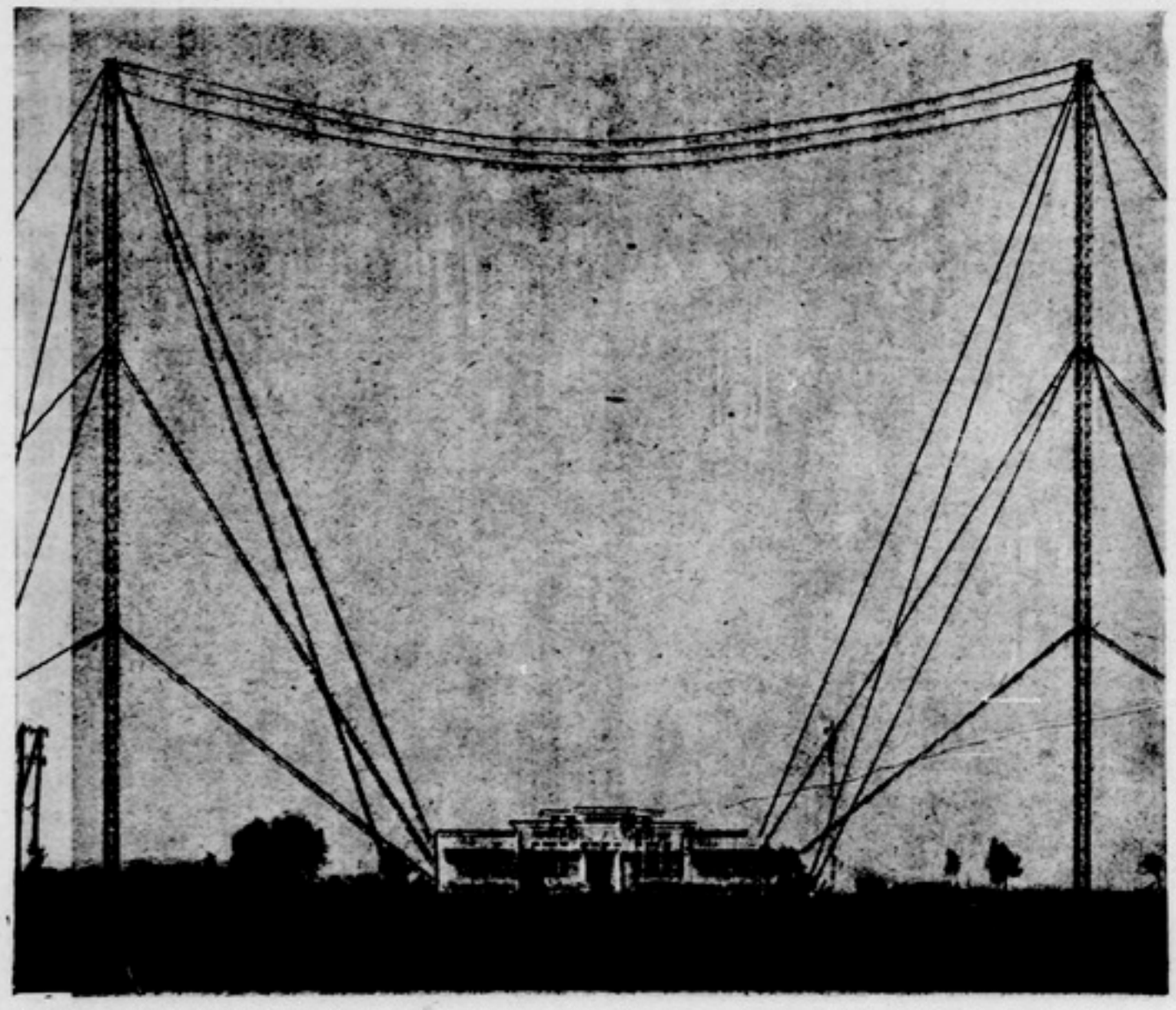


Fig. 9. — Vue de l'antenne de la nouvelle station d'Alger.

Toutes les machines et le redresseur statique sont commandés automatiquement depuis le pupitre de manœuvre de la salle d'émission, qui porte des appareils indicateurs des circuits de plaque et de grille des amplificateurs de puissance.

La station est à démarrage automatique, commandée par deux commutateurs à bouton poussoir. Le premier déclenche le chauffage progressif des filaments et le démarrage retardé des différents groupes. Le second assure la mise en service des transformateurs hexaphasés du redresseur : c'est donc, en fait, celui qui commande l'émission. Des relais à verrouillage évitent les fausses manœuvres.

La protection de chaque triode est confiée à un disjoncteur à courant maximum intercalé dans le circuit anodique, et dont le déclenchement arrête l'émission.

Le fonctionnement de la station est contrôlé par : un voltmètre mesurant la tension du réseau d'alimentation ; un ampèremètre indiquant le courant de chaque phase primaire des transformateurs hexaphasés ; un ampèremètre mesurant le courant de chauffage des diodes ; un voltmètre indiquant la tension de chauffage de chacun des filaments des triodes de puissance ; un ampèremètre mesurant le courant anodique de chacun des triodes de puissance ; un voltmètre donnant la tension de polarisation de grille de l'étage intermédiaire ; un milliampèremètre indiquant ce courant de grille ; un voltmètre mesurant la tension de polarisation de grille du dernier étage et un milliampèremètre indiquant ce courant de grille.

Sur le pupitre sont groupés les deux potentiomètres de grille, un rhéostat de chauffage général et une signalisation lumineuse révélant, par l'allumage d'une lampe à incandescence, le triode dont le fonctionnement laisse à désirer. Le circuit de polarisation est pourvu d'un dispositif identique qui signale si les triodes sont polarisés.

5. Premiers résultats d'exploitation. — Les transmissions sont encore faites actuellement de l'ancien auditorium, situé boulevard Saint-Saëns et directement relié au poste d'émission par un câble téléphonique souterrain jusqu'à Maison Carrée. De ce point à la station, la ligne téléphonique est aérienne. Incessamment sera mis en service le nouvel auditorium de la Salle des Fêtes, qui a été construit dans la partie haute du boulevard Laferrière.

La nouvelle station d'Alger a été inaugurée officiellement le 19 novembre 1929 à 9 h 30, mais depuis plus d'un mois déjà à cette date, les auditeurs de nombreux pays avaient signalé les résultats d'écoute de cette station.

Aux environs de Paris, l'émission de Radio-Alger est

perçue avec force et netteté. Son audition y est parfois même comparable dans la soirée à celle de Radio-Paris, en raison de la longueur d'onde (364,50 m).

On n'observe généralement qu'un faible ou aucun évanouissement.

Tous les résultats d'écoute s'accordent pour apprécier la qualité de la modulation et la netteté de la réception.

Les émissions de la station d'Alger sont entendues sans difficulté dans toute la France continentale et en Belgique, même sur des récepteurs élémentaires, tels que postes à galène et détectrices à réaction.

Cette station a même été captée à Galata (Turquie), à une distance de 2 000 km, et à Amsterdam à plus de 1 700 km en très fort haut-parleur. On a signalé également le 24 novembre une réception très nette à Hoang-Nguyen (Tonkin) à 5 h 30 de l'heure locale sur une détectrice à réaction Schnell, suivie de deux étages d'amplification à basse fréquence. A ce moment, il était à Alger 22 h 30 le 23 novembre.

Ces quelques résultats suffisent à prouver que la nouvelle station d'Alger a une grande portée et se classe comme l'une des meilleures stations françaises.

II. La station en construction de Strasbourg-Brumath

I. **Considérations générales.** — Cette station, réclamée depuis longtemps par l'Alsace et la Lorraine, est appelée à répandre la pensée et la culture françaises dans des régions où l'on entend surtout à ce jour les ondes de Cologne, Francfort-sur-le-Mein, Kaiserslautern, Fribourg-en-Brisgau, Stuttgart et Bâle.

La propagande d'outre-Rhin ne peut être contrebalancée que par une station française transmettant en partie en dialecte alsacien ou en allemand. C'est pour répondre à cette nécessité que fut prise la décision de construire aux environs de Strasbourg une puissante station de radiodiffusion.

Jusqu'à ce jour, l'Alsace ne possédait qu'un petit poste d'émission privé exploité par le Radio-Club du Bas-Rhin et transmettant deux ou trois fois par semaine avec une puissance de 300 w sur une longueur d'onde de 268 m.

II. **Emplacement et bâtiments de la station.** — La nouvelle station est établie près de Brumath, à 20 km environ au nord-ouest de Strasbourg, près de la voie ferrée et sur la route de Paris (1).

Elle doit jouer le rôle de station régionale, c'est-à-dire avoir une puissance suffisante pour permettre à tous les Alsaciens et Lorrains d'écouter régulièrement sur les récepteurs les plus élémentaires. On a donc prévu que sa portée sur les postes les plus simples dépasserait de beaucoup 100 km et que ses émissions pourraient être entendues sur galène, même dans les agglomérations (Strasbourg, Haguenau, Saverne, Sarreguemine, Sarrebourg). Sur des appareils à lampes sensibles, les émissions de Strasbourg seront captées dans toute l'Europe. D'ailleurs leur portée sera supérieure à celle des émissions de la station d'Alger.

La puissance de la station ne sera pas inférieure à 12 kw dans l'antenne, mais pourra facilement être portée à 20 kw. La longueur d'onde réservée à ces émissions est celle de 346 m, prévue dans la répartition de Prague.

Le choix du terrain de la station résulte de diverses considérations. L'expérience acquise imposait une situation assez à l'écart de toute agglomération importante, en particulier de Strasbourg, pour que les habitants des villes alsaciennes ne fussent pas contraints à entendre les émissions de Strasbourg à l'exclusion de toutes autres.

D'autre part, l'emplacement de la station devait être bien dégagé et offrir un sol recouvrant une nappe d'eau à faible profondeur, pour que la conductivité du terrain permît d'obtenir en toute saison une prise de terre de faible résistance. Le terrain de Brumath présente précisément les qualités requises : ce terrain est plat, bien dégagé et d'une superficie de 3 hectares ; en forme de rectangle, dont le grand côté mesure 300 m, il est propre à l'installation de deux pylônes métalliques de 100 m de hauteur.

Fig. 10. — Vue en élévation de la nouvelle station de Strasbourg-Brumath.

Les bâtiments sont conçus largement pour renfermer tous les appareils d'émission et leurs accessoires, ainsi que pour se prêter aux modifications et aux agrandissements qui peuvent devenir nécessaires dans un proche avenir. En outre, ils comprennent des bureaux et des logements pour le personnel de l'exploitation technique, qui est astreint à la résidence (fig. 10).

Le poste proprement dit est installé dans les deux étages de la partie centrale du bâtiment, qui est recou-

(1) P. Brenot ; La station de radiodiffusion de Strasbourg-Brumath. *L'Alsace française*, 22 décembre 1929, t. XVIII, p. 1084.

verte par une coupole. Les salles plus petites aménagées à la périphérie recevront les services accessoires : laboratoire, magasin, cabine des appareils du réseau, auditorium de secours.

Les appareils d'alimentation en énergie électrique et en eau sont groupés au sous-sol. Les locaux d'habitation sont situés dans les quatre ailes qui flanquent symétriquement la coupole octogonale. Ils comprennent les logements du chef de poste, des opérateurs techniques et de leur famille.

III. **Matériel d'émission**. — La station de Strasbourg-Brumath est équipée par la Société française radioélectrique avec un matériel spécialement étudié, qui répond aux plus récents perfectionnements techniques. Un cahier des charges précis donne toutes garanties exigibles concernant la qualité de la modulation, la stabilité de la fréquence et la régularité de l'exploitation. Des appareils de sécurité et de contrôle réduisent au minimum les risques d'avaries et d'interruption de fonctionnement.

Pour stabiliser la fréquence de l'émission, on a prévu un maître oscillateur, c'est-à dire un oscillateur qui ne peut fonctionner que sur la fréquence pour laquelle il a été construit. Il utilise un cristal de quartz piézoélectrique, taillé pour osciller sur la longueur d'onde de 346 m.

L'oscillation du maître oscillateur est amplifiée par une série d'étages de triodes, complétés par un triode de 100 w dit « de puissance ». C'est sur cette lampe qu'est appliquée par le système connu sous le nom de « contrôle d'anode » la modulation microphonique préalablement amplifiée par des étages convenables à fréquence acoustique (fig. 11).

Le dernier étage d'amplification du courant de haute fréquence modulé est constitué par quatre triodes de grande puissance, absorbant chacun une puissance d'alimentation de 10 à 13 kw et pourvus d'un système de réfrigération par circulation d'eau. Les filaments de l'ensemble de ces quatre lampes consomment plus de 3 kw et la puissance appliquée aux anodes est en moyenne de 50 kw sous une tension de 10 000 v. Ces quatre lampes fournissent à l'antenne de la station une puissance modulée minimum de 12 kw, qui pourra être facilement portée à 20 kw. Les quatre lampes sont montées sur un bâti hexagonal en forme de tourelle, analogue à celui de la station d'Alger (fig. 12 et 13).

La modulation a été l'objet d'une attention toute spéciale. C'est d'elle, en effet, que dépend en grande partie la puissance et la qualité des émissions. Si le coefficient de modulation est trop faible, une fraction de la puissance en haute fréquence est rayonnée en pure perte. S'il est trop élevé, il peut s'ensuivre des distorsions. Le taux de modulation a été poussé au maximum compatible avec la qualité de l'émission. A cet effet, on a choisi des lampes modulatrices d'une puissance nettement supérieure à celle des lampes oscillatrices. La modulation sur triode intermédiaire de faible puissance, de 100 w, évite de mettre en jeu une puissance de modulation considérable, ce qui eût été nécessaire si la modulation avait été prévue sur le dernier étage d'amplification. Le coefficient de modulation est de 75 pour 100 sur la lampe intermédiaire et il se maintient à ce taux au cours des amplifications successives des courants de haute fréquence modulés, si bien que l'énergie rayonnée par l'antenne est également modulée à 75 pour 100.

Les microphones ont été étudiés pour donner le maximum de fidélité de la reproduction, tant pour la parole que pour la musique. Le microphone émetteur,

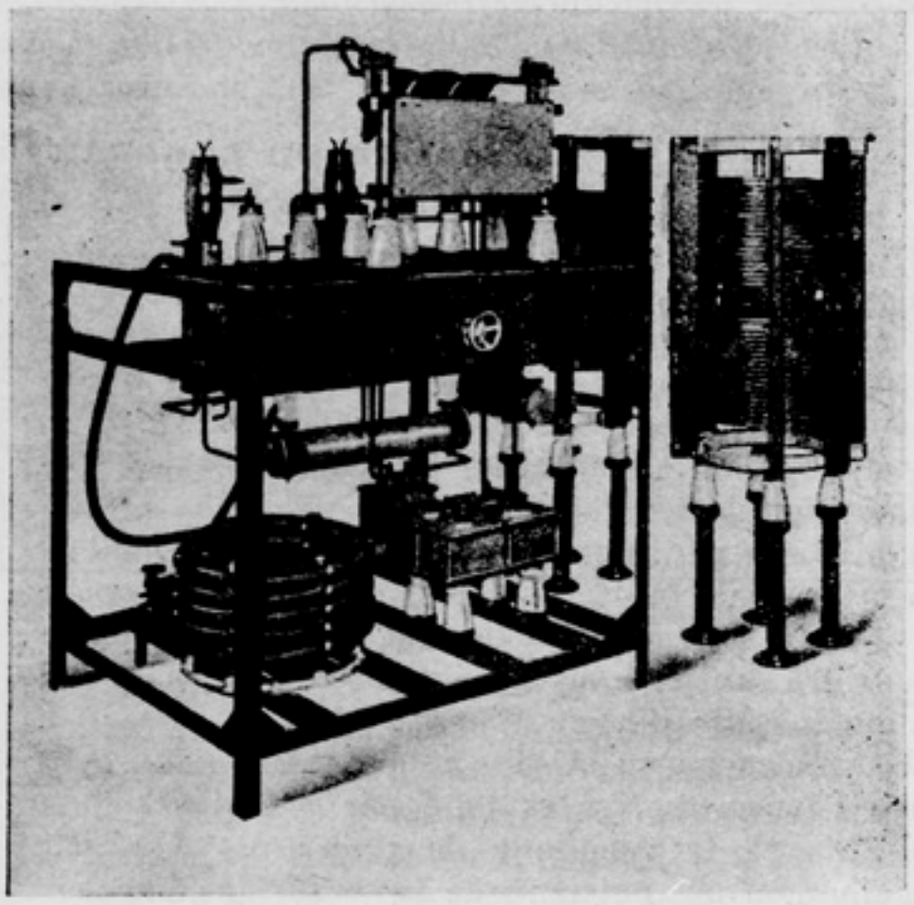


Fig. 11. — Circuit oscillant de l'étage d'amplification de puissance intermédiaire.

du type dénommé « consommateur parlant » débite sur des amplificateurs à résistances qui donnent une grande pureté et évitent les déformations en conservant un coefficient d'amplification indépendant de la fréquence de modulation.

Comme le poste d'Alger, celui de Strasbourg a été conçu pour permettre d'augmenter la puissance d'émission facilement et suivant les besoins.

L'émetteur proprement dit est commandé automatiquement au moyen de commutateurs à bouton qui actionnent des relais. La mise en marche et l'arrêt de la station sont opérés au moyen de deux clés placées sur le pupitre du tableau.

La moindre anomalie qui pourrait survenir dans le fonctionnement de l'un des circuits de l'émetteur produit l'arrêt immédiat de la station. De plus, une lampe témoin s'allume sur le pupitre et localise le circuit avarié.

IV. **Les liaisons téléphoniques de la station**. — Des liaisons téléphoniques propres sont prévues et déjà installées. En outre, la station de Strasbourg pourra

être reliée au réseau téléphonique général pour les transmissions d'auditions données en dehors de l'auditorium, qu'il s'agisse de relais régionaux, nationaux ou internationaux.

Un matériel portatif a été spécialement étudié. Il permet de placer un microphone dans une salle de spectacle quelconque de Strasbourg ou de toute autre

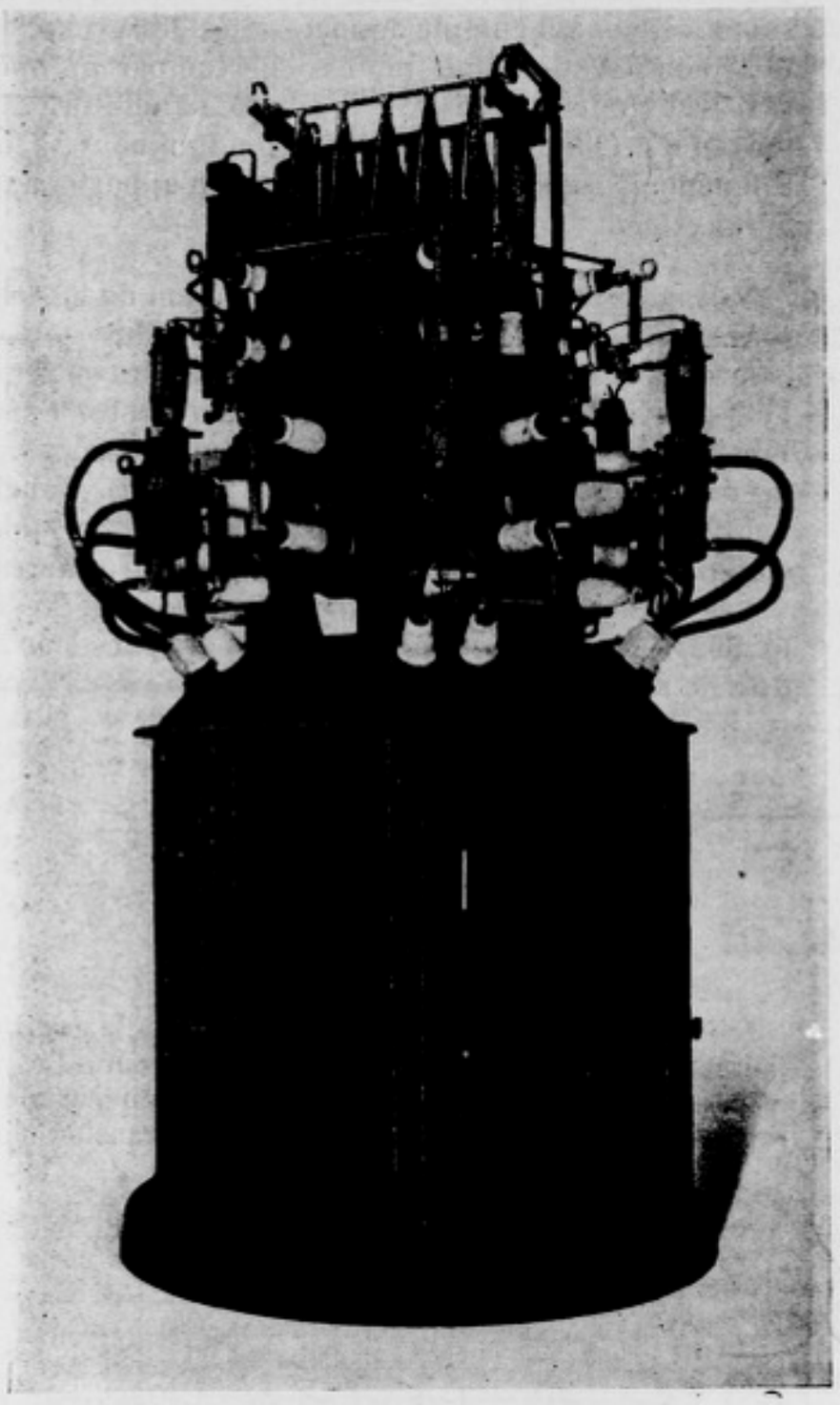


Fig. 12. — Bâti en tourelle supportant les lampes de l'étage amplificateur de puissance.

localité. Ainsi la station de Strasbourg pourra diffuser les auditions de Bordeaux, Genève, Lille, Paris et les programmes internationaux de Vienne, Londres et Prague, capitales qui sont reliées à Strasbourg par des câbles téléphoniques souterrains équipés pour les transmissions à grande distance.

La liaison entre la station de Brumath et l'auditorium de Strasbourg est à l'abri des aléas de fonctionnement : elle est en effet constituée par un câble téléphonique souterrain. L'aplatissement des sons, produit par la transmission le long des câbles pour les fréquences de la gamme de 50 à 12000 p:s, est évité par la pupinisation. Des bobines de self-inductance sont intercalées en série avec les fils de ligne de 900 en 900 m. En outre, l'induction entre les paires voisines de conducteurs du câble est compensée pour supprimer les inconvénients graves de la diaphonie. Les paires de fils sont isolées au papier et séparées les unes des autres par des armatures en aluminium mises à la terre. Les quatre paires ainsi armées sont groupées à l'intérieur d'une enveloppe en plomb, protégée extérieurement par une armature en fil de fer. Ce câble est posé dans une tranchée qui longe la route de Strasbourg à Brumath.

V. Le système antenne et terre. — L'antenne de Strasbourg aura la forme d'un prisme triangulaire vertical, de 100 m de hauteur, terminé par deux prismes triangulaires horizontaux analogues, ayant chacun 20 m de longueur.

L'ensemble est tendu sur deux pylônes métalliques non haubanés, de 100 m de hauteur, analogues à ceux du poste d'émission de Radio Paris, c'est-à-dire pyramidaux et à base carrée.

Ces pylônes ont un écartement de 120 m. L'extrémité de la nappe prismatique d'antenne est donc distante de

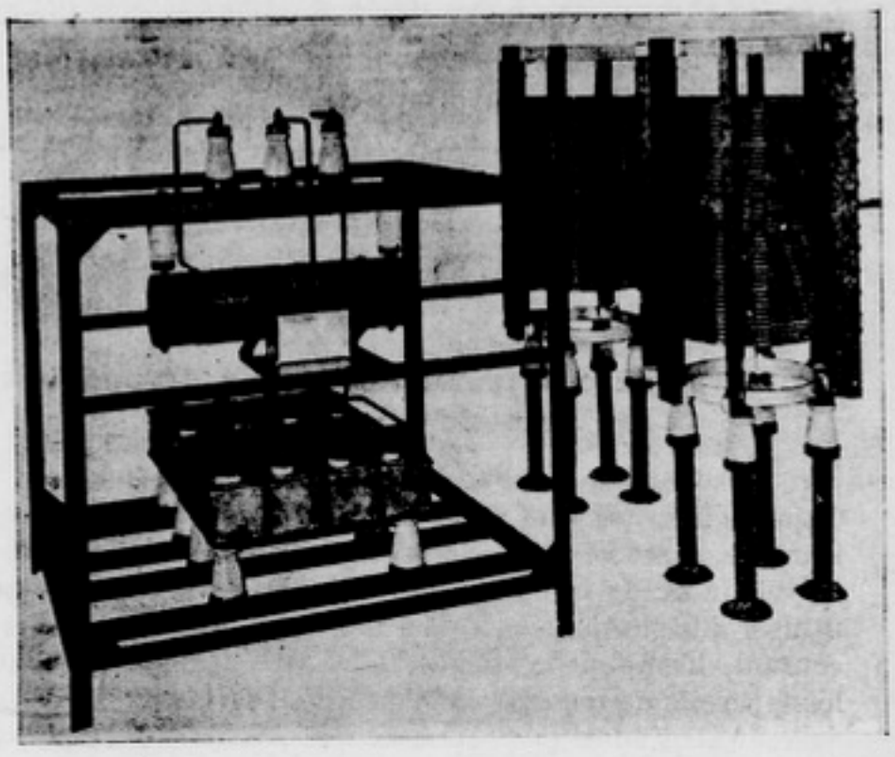


Fig. 13. — Condensateurs et self-inductances constituant le dernier circuit oscillant ; à droite, inductance d'antenne et variomètre de couplage avec l'antenne.

40 m du pylône auquel elle est rattachée, ce qui réduit au minimum l'absorption des ondes par la masse métallique des pylônes.

En raison de la forme de la plaine d'Alsace, qui s'étend du nord au sud, on a donné à l'antenne la direction nord-sud. Elle aura donc son rayonnement maximum dans cette direction et les émissions seront bien entendues jusqu'aux confins du Haut-Rhin et du territoire de Belfort.

La prise de terre est analogue à celle d'Alger. Elle

comporte essentiellement un système de bandes de cuivre reliant électriquement les bases des deux pylônes. De nombreux fils de cuivre transversaux de 80 m de longueur sont disposés transversalement à ces bandes et leur sont soudés. Le tout a la figure classique d'une arête de poisson. L'ensemble est enterré à 0,50 m de profondeur. Sous le départ de l'antenne, des plaques de cuivre sont également enfouies.

La forme et la longueur de l'antenne ont été calculées pour que la longueur d'onde propre du système antenne et terre soit voisine de la demi-onde de l'émission (346 : 2 = 173 m). L'accord en demi-onde permet en effet d'améliorer le rendement et la portée, principalement par la diminution de l'évanouissement des ondes qui gêne considérablement l'écoute la nuit et à grande distance.

VI. **Alimentation en énergie électrique.** — L'installation des circuits d'alimentation s'inspire surtout du souci de la sécurité de fonctionnement. Il n'existe que des génératrices à basse tension. Le courant continu à haute tension (10000 v) est fourni par des redresseurs statiques à vapeur de mercure.

Afin d'éviter les risques d'arrêts accidentels, l'énergie électrique est transmise à la station par deux lignes à haute tension indépendantes, l'une venant de Hochfelden et l'autre de Brumath. Les variations de tension du réseau sont compensées, à l'arrivée à la station, au moyen d'un régulateur d'induction.

VII. **L'auditorium de Strasbourg.** — La station est complétée par un auditorium installé au centre de la ville de Strasbourg, dans une maison de la rue de la Nuée-Bleue, dont les locaux sont aménagés pour le service radioélectrique. On a choisi pour auditorium une grande salle de 10 m × 6 m de superficie, dont l'acoustique a été modifiée pour supprimer les effets de résonance et de réflexion du son qui pourraient donner lieu à un écho désagréable. L'orchestre sera réparti judicieusement en tenant compte des nécessités de l'acoustique.

Le contrôle de l'émission est effectué par un opérateur qui communique avec le chef de l'auditorium au moyen d'un panneau de signalisation lumineuse à fonctionnement semi-automatique, qui n'apporte aucun dérangement au jeu des exécutants.

VIII. **Conclusion.** — Grâce à l'érection de la station d'Alger, qui fonctionne depuis le 19 novembre 1929, et à celle de la station de Strasbourg, qui entrera en service l'été prochain et dont les essais commenceront dès ce mois de mars 1930, la France disposera de deux nouvelles voix radiophoniques puissantes, qui feront rayonner sa pensée, son art et sa civilisation non seulement jusqu'aux confins du pays, mais loin au delà de nos frontières.

Ces deux stations donneront à l'étranger l'impression du degré de perfectionnement auquel est parvenue l'industrie radioélectrique française.

Michel Adam,
Ingénieur E. S. E.

Revues, analyses et informations

Excitation des transformateurs de courant en période transitoire (1).

1. Introduction. — Pour certains appareils, tels que les disjoncteurs, qui sont soumis à des essais de court-circuit brusque, il est nécessaire d'avoir une indication correcte de la valeur et de la nature du courant transitoire. On peut utiliser des shunts non inductifs ou des transformateurs de courant. L'emploi des shunts nécessite l'isolement de tous les appareils de mesure pour la tension de la ligne et ceux-ci doivent être aussi peu inductifs que possible. L'emploi des transformateurs donne lieu à quelques erreurs dont les causes sont les suivantes.

Si le circuit dans lequel est inséré le primaire du transformateur est composé à la fois de résistances et de réactances, le courant qui s'établit immédiatement après la fermeture de l'interrupteur ne prend pas toujours la forme sinusoïdale pure, mais peut avoir son axe déplacé comme le montre la figure 1. Cette asymétrie décroît rapidement et disparaît pratiquement au bout de 3 à 15 périodes suivant les cas. Le degré d'asymétrie dépend de la valeur de la tension à l'instant de la fermeture. Il est nul quand la tension est maximum, et maximum quand la tension est nulle. Ces conditions sont toutes fortuites.

(1) D.-E. Marshall et P.-O. Langguth. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, décembre 1929, t. XLVIII, p. 884-888, 2500 mots, 3 figures.

Les erreurs de mesure sont dues d'abord à la sursaturation résultant de la composante continue du courant asymétrique. De plus, à cause de cette composante, un magnétisme rémanent peut subsister dans le noyau du transformateur,

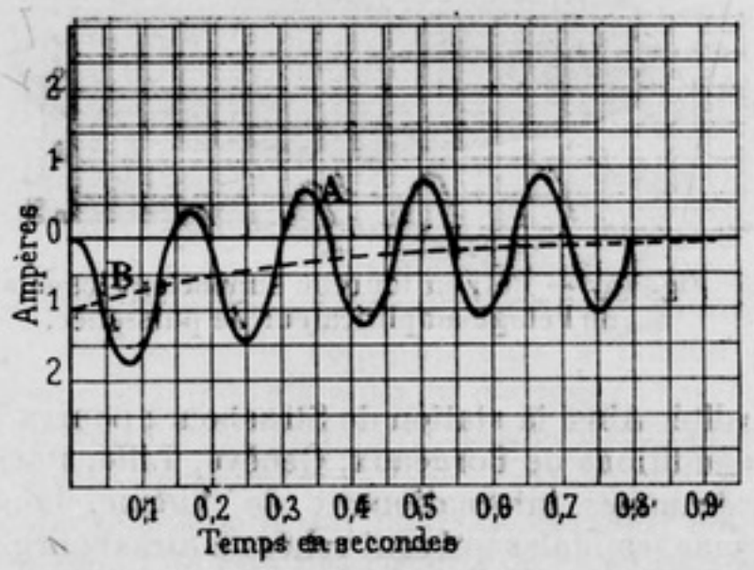


Fig. 1. — Courbe du courant transitoire dans un circuit inductif ayant une constante de temps de 0,030 4 s à 60 p : s.

qui influe suivant son sens de manière différente sur les résultats des mesures. Pour des essais précis, il y a lieu d'annuler d'abord ce magnétisme rémanent et, pour en limiter les effets, le transformateur devra être établi avec valeur

normale très réduite de l'induction. Au cours des essais, si l'induction n'atteint pas le coude de la courbe de magnétisme, il ne sera pas nécessaire en général de désaimanter le noyau avant chaque mesure.

2. Importance pratique des erreurs : expression du courant magnétisant. — L'amplitude de ces erreurs est généralement faible, bien que lors d'un court-circuit violent d'un grand degré d'asymétrie elle peut, par suite de la saturation, atteindre, en valeur maximum, avec un transformateur peu approprié, 50 pour 100 de la valeur de la première onde de courant. Mais l'effet de distorsion de la forme du courant secondaire est souvent plus notable que la diminution de sa valeur maximum. Dans la plupart des cas, la considération des erreurs ainsi introduites n'est pas d'une importance très grande, attendu que la disjonction ne se produit guère qu'après l'établissement du régime permanent. Mais il est des cas où elle s'impose, tels par exemple ceux des relais ultrarapides ou des oscillographes pour le relevé des puissances instantanées.

L'expression du courant magnétisant peut être mis sous la forme

$$i_1 = I\left[\frac{\sqrt{R_2^2+\omega^2L_2^2}}{R_2\sqrt{1+\omega^2T_1^2}}\left(\sin(\omega t+\alpha+\Phi+\Delta)-\sin(\alpha+\Phi-\Delta)e^{\frac{-t}{T}}\right)\right.$$

$$\left.+\frac{L_2-R_2T}{R_2(T-T_1)}\sin\alpha\left(e^{\frac{-t}{T}}-e^{\frac{-t}{T_1}}\right)\right], \qquad (1)$$

avec $i=0$ pour $t=0$.

Dans le cas le plus défavorable où $L_2=0$ et $\sin\alpha=1$, on peut écrire

$$i_1 = I\left[\frac{1}{\sqrt{1+\omega^2T_1^2}}\cos\left(\omega t-\frac{1}{\operatorname{tg}\omega T_1}\right)\right.$$

$$\left.-\frac{T}{T-T_1}\left(e^{\frac{-t}{T}}-e^{\frac{-t}{T_1}}\right)+\frac{e^{\frac{-t}{T_1}}}{1+\omega^2T_1^2}\right]. \qquad (2)$$

Dans ces expressions, on a

$$T_1=\frac{L_1+L_2}{R_2},\quad \operatorname{tg}\Phi=\frac{\omega L_2}{R_2},\quad \operatorname{tg}\Delta=\omega T_1,$$

I étant la valeur maximum du courant primaire au régime permanent;

$L_1\omega$, la réactance totale du circuit primaire;

$L_2\omega$, la réactance totale du circuit secondaire;

R_2, la résistance totale du circuit secondaire;

et T, la constante de temps du circuit primaire.

Les réactances de fuites et les résistances des enroulements du transformateur peuvent être négligées.

Le terme transitoire u du courant magnétisant est donc de la forme

$$u = Ae^{\frac{-t}{T}}-(A+B)e^{\frac{-t}{T_1}} \qquad (3)$$

et le temps pour lequel ce terme est maximum est

$$t=\log_e\left[\frac{T}{T_1}\,\frac{A}{A+B}\right]^{\frac{TT_1}{T_1-T}}. \qquad (4)$$

Cette valeur maximum peut être calculée par l'expression simplifiée

$$U_m = I\left(\frac{T_1}{T}\right)^{\frac{-T_1}{T_1-T}}. \qquad (5)$$

3. Résultats d'essais. — Comme contrôle de la théorie, une série d'essais furent effectués et afin de séparer du courant primaire la composante magnétisante, le schéma de la figure 2 fut utilisé, la constante de temps du circuit primaire étant réglée par des résistances et des inductances et de même pour celle du circuit secondaire. Le rapport de transformation était de 2/1 Les enroulements primaire et secondaire étaient connectés, comme l'indique le schéma, par l'intermédiaire de trois shunts semblables de faible résistance et l'élément V_2 (de grande résistance) d'un oscillographe était inséré entre le deuxième et le troisième shunts à l'extrémité commune aux enroulements. Les indications de cet oscillographe mesuraient donc la différence entre le courant primaire et le courant secondaire, c'est-à-dire le courant magnétisant et, par conséquent, l'erreur instantanée du transformateur.

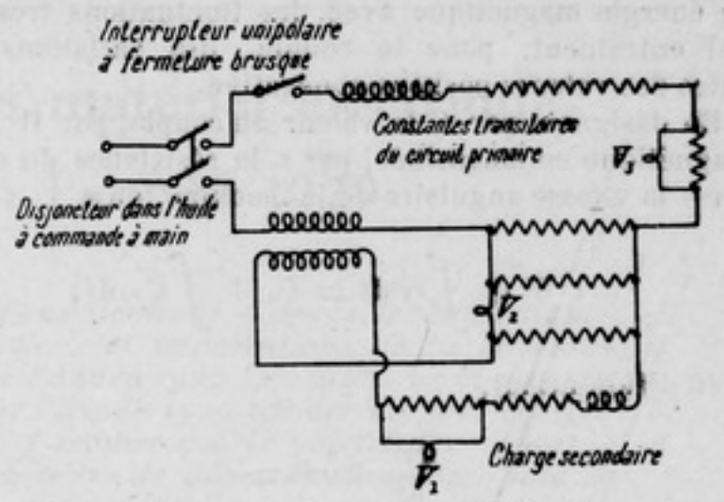


Fig. 2. — Schéma des connexions pour essais d'un transformateur de courant en régime transitoire.

Le facteur de puissance du circuit primaire était de 0,057, ce qui correspondait à une constante de temps $T=0{,}0147$ s. La résistance totale secondaire était de 0,20 ohm et la valeur moyenne de T_1, 0,796 s.

En introduisant ces valeurs dans les équations (4) et (5) on trouve

$$t = 0{,}13\text{ s} \quad \text{et} \quad U_m = \frac{4{,}8}{100} I.$$

Il fut mesuré aux essais

$$U_m = \frac{4{,}02}{100} I.$$

et la valeur de t lue sur les oscillogrammes concordait exactement avec celle calculée. Dans cette méthode d'essais, les erreurs des relevés oscillographiques sont comprises entre $\pm$ 5 pour 100. — M. R.

Le couple des machines synchrones non munies d'enroulements amortisseurs, durant les courts-circuits (1).

1. Introduction. — Les dommages produits par les courts-circuits sur les machines synchrones montrent que des forces mécaniques considérables entrent en jeu. On peut citer le cas de l'un des générateurs à axe vertical, de Niagara Falls, dont le stator, entraîné magnétiquement par le rotor, arracha tous ses boulons de scellement lors d'un court-circuit et put tourner d'un angle notable par rapport à ses fondations.

(1) G.-W. Penney. *Journal of the american Institute of electrical Engineers*, octobre 1929, t. XLVIII. p. 718-742, 2 200 mots, 5 figures.

2. Méthode générale de calcul du couple. — Pour calculer le couple en marche normale, on suppose que l'énergie emmagasinée est constante, de telle sorte que le couple correspond à la somme de la puissance utile aux bornes et de la puissance perdue. Si la machine est mise en court-circuit, l'énergie électrique devient nulle et l'énergie cinétique correspondante emmagasinée dans le rotor se transforme en énergie magnétique avec des fluctuations très rapides qui entraînent, pour le couple, des variations rapides entre des valeurs positive et négative.

En désignant par C la valeur du couple, par W l'énergie magnétique emmagasinée, par r la résistance du circuit et par ω la vitesse angulaire de la machine, on a

$$W + \int r i^2 dt = U_0 + \int C\omega\, dt;$$

et en différentiant,

$$\frac{dW}{dt} + ri^2 = C\omega,$$

et si l'on néglige r

$$\frac{dW}{dt} = C\omega.$$

Le couple agissant pendant un court-circuit dépend beaucoup de la manière dont l'arbre est entraîné. Dans le cas d'un compensateur synchrone, il est nul ; dans le cas d'un arbre parfaitement rigide relié à un rotor de turbine de grandes dimensions, il est au contraire considérable. Entre ces deux extrêmes se trouvent les cas rencontrés habituellement dans la pratique.

3. Méthode semi-graphique. — L'auteur a étudié le cas d'une machine « idéale » présentant les caractéristiques suivantes :

1° La self-inductance de chaque enroulement reste constante ;

2° L'inductance mutuelle entre les enroulements induit et inducteur varie suivant le cosinus de l'angle dont tourne le rotor ;

3° La résistance est négligeable.

Il aboutit aux équations suivantes, correspondant respectivement au cas d'un court-circuit sur une seule phase et à celui d'un court-circuit sur les trois phases à la fois,

$$C\omega = \frac{dW}{dt} = i_a e_a \frac{i_f}{I_f},$$

$$C\omega = \frac{dW}{dt} = [i_a e_a + i_b e_b + i_c e_c] \frac{i_f}{I_f}.$$

Dans ces équations, i représente les valeurs instantanées du courant de court-circuit dans les trois phases (a, b, c) et dans le circuit inducteur f ; e, la tension dans les mêmes conditions et I_f le courant inducteur normal,

Ces valeurs du courant et des tensions peuvent être déterminées par des oscillogrammes, de là le nom de « méthode semi-graphique » donné par l'auteur à cette méthode de calcul du couple, dont le principal avantage est de rendre inutile la détermination de valeurs de l'inductance des différentes parties de la machine.

On a supposé, jusqu'ici, que l'effet de la résistance du circuit était négligeable ; en réalité, ce n'est pas absolument exact et cela pour deux raisons : 1° la résistance, même faible, produit une certaine chute de tension ; 2° les pertes par effet Joule ne sont pas négligeables par suite de la valeur très élevée des courants. En tenant compte de ces deux considérations, on trouve, pour le couple, des valeurs légèrement différentes des précédentes. La comparaison peut être faite très facilement sur la figure 1 sur laquelle on a reproduit les graphiques correspondant :

1° Aux valeurs du couple calculées en négligeant la résistance (courbe A) ;

2° Aux valeurs du couple en tenant compte de la résistance (courbe B) ;

3° Aux valeurs données directement par un accéléromètre enregistreur.

On trouve d'ailleurs dans l'article original deux tableaux donnant le détail du calcul du couple dans le cas où la résistance est négligée et dans celui où on en tient compte, ces deux tableaux étant établis pour un court-circuit sur une seule phase.

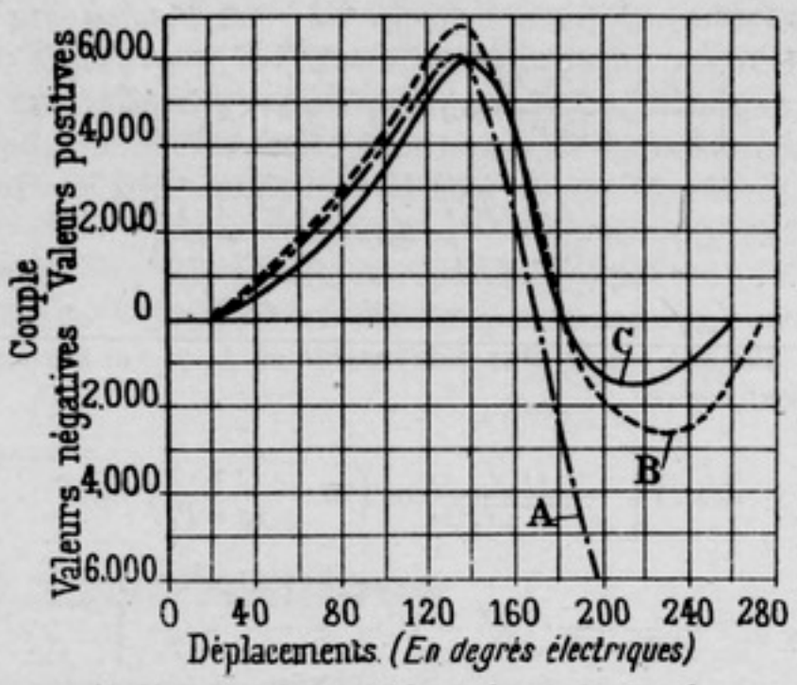


Fig. 1. — Courbes représentant les valeurs du couple en court-circuit pendant le déplacement du rotor par rapport au stator : A, valeurs calculées sans tenir compte de la résistance ; B, valeurs calculées corrigées en tenant compte de la résistance ; C, valeurs données par un accélérographe enregistreur.

4. Conclusion. — On voit que la valeur du couple varie considérablement avec les positions respectives du rotor et du stator de la machine. Il faut cependant tenir compte du fait que ce qui vient d'être dit correspond à une machine « idéale » et que, d'autre part, l'auteur a supposé que le court-circuit avait lieu au moment où la tension s'annule, c'est-à-dire dans les plus mauvaises conditions. En pratique, ce phénomène se produit heureusement peu souvent et les variations du couple peuvent être moins prononcées.

La méthode de calcul indiquée par l'auteur n'en reste pas moins applicable et elle donne, lorsqu'on ne néglige pas systématiquement l'action de la résistance des circuits, des résultats en plein accord avec ceux qui sont fournis par la mesure directe. — B. E.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Exportations et importations de matériel électrique de la Grande-Bretagne en l'année 1929

Dans le « Bulletin R. G. E. » ont été publiés (*) les tableaux donnant, d'après les statistiques établies par le Board of Trade, les valeurs des exportations et importations de la Grande-Bretagne en matériel électrique pendant les divers mois de l'année 1929. Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs de ces exportations et importations pour l'année 1929 entière et, pour comparaison, celles qui concernent l'année 1928 (**). Le tableau I montre que la valeur des exportations a dépassé celle des importations, de près de 11 135 milliers de livres sterling, soit près de 1 381 millions de francs ; en 1928, l'excédent de la valeur des exportations sur celle des importations avait atteint un peu plus de 11 879 milliers de livres, soit environ 1 478 millions de francs.

I. **Exportations**. — Il résulte des statistiques établies par le Board of Trade que la valeur des exportations de matériel électrique faites en 1929 s'est élevée à 19 534 706 livres sterling, en augmentation de 1 213 311 livres sur celle des exportations de l'année précédente. Cette valeur ne représente que 2,7 pour 100 de la valeur totale des exportations de la Grande-Bretagne (plus de 729 millions de livres), mais plus de 33 pour 100 de la valeur des exportations d'objets manufacturés (58,43 millions de livres).

TABLEAU I. — *Exportations et importations de matériel électrique pendant les années* 1928 *et* 1929.

	EXPORTATIONS livres sterling		IMPORTATIONS livres sterling		RÉEXPORTATIONS livres sterling	
	1928	1929	1928	1929	1928	1929
1. Marchandises et appareils électriques non dénommés	2 542 219	3 224 345	1 496 082	1 877 393	87 500	110 502
2. Câbles et conducteurs isolés	2 868 014	3 390 576	795 785	914 328	12 200	9 487
3. Lampes à incandescence	532 582	662 530	424 877	495 423	10 671	12 083
4. Lampes à arc et accessoires	21 041	25 398	37 234	23 217	414	649
5. Piles et accumulateurs	1 091 015	1 004 627	742 835	862 249	9 288	11 743
6. Compteurs et instruments de mesure	378 351	386 596	279 866	508 398	9 227	8 419
7 Charbons	13 726	11 378	128 339	151 081	1 456	1 750
8. Tableaux de distribution	72 857	64 100	1 742	2 214	373	98
9. Machines électriques (non énumérées)	3 784 417	3 764 882	1 713 430	1 893 930	143 352	125 484
10. Moteurs de traction	475 191	292 476				
11. Autres moteurs et générateurs	2 432 652	2 300 058				
12. Câbles et fils télégraphiques et téléphoniques	855 418	1 118 179	71 071	43 055	827	2 091
13. Câbles télégraphiques et téléphoniques sous-marins	630 301	447 137	5 950			4
14. Instruments et appareils télégraphiques et téléphoniques	2 623 620	2 842 424	726 856	1 628 641	35 311	62 831
Totaux	18 321 395	19 534 706	6 424 067	8 399 929	310 619	345 141

Le tableau I montre que les rubriques présentant les augmentations les plus importantes sont les suivantes : marchandises et appareils électriques non dénommés (682 135 livres), câbles et conducteurs isolés (522 562 livres), câbles et fils télégraphiques et téléphoniques (262 761 livres), instruments et appareils télégraphiques et téléphoniques (218 804 livres) ; les diminutions les plus importantes portent sur les

(*) *Revue générale de l'Electricité* (*Bulletin R. G. E*), t. XXV, p. 114 B, 149 B, 165 B et 201 B ; t. XXVI, p. 45 B, 85 B, 101 B, 133 B, 149 B et 189 B ; t. XXVII, p. 25 B et 50 B.

(**) Pour les exportations et importations des années 1928 et 1927, voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 avril 1929, t. XXV, p. 549.

moteurs de traction (182 715 livres), et sur les câbles télégraphiques et téléphoniques sous-marins (183 164 livres).

Les tracés de la figure 1 représentent, en milliers de livres sterling, les variations des exportations men-

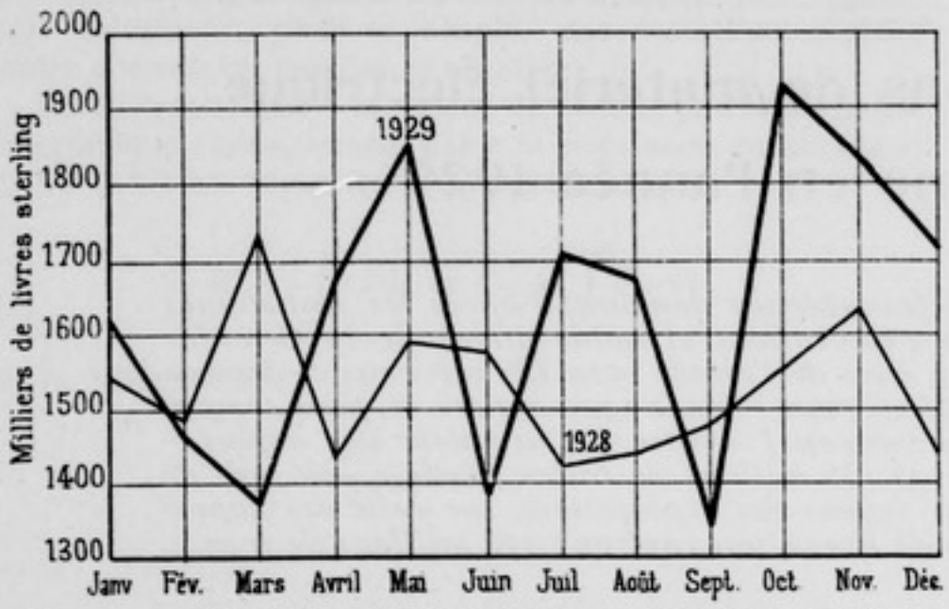


Fig. 1. — Variations de la valeur, en milliers de livres sterling, des exportations mensuelles de matériel électrique pendant les années 1928 et 1929.

suelles de matériel électrique pour les années 1928 et 1929. Sur la figure 2 les lignes supérieures sont relatives aux exportations de machines électriques, c'est-à-dire à l'ensemble du matériel indiqué aux rubriques 9, 10 et 11, tandis que les lignes inférieures indiquent les

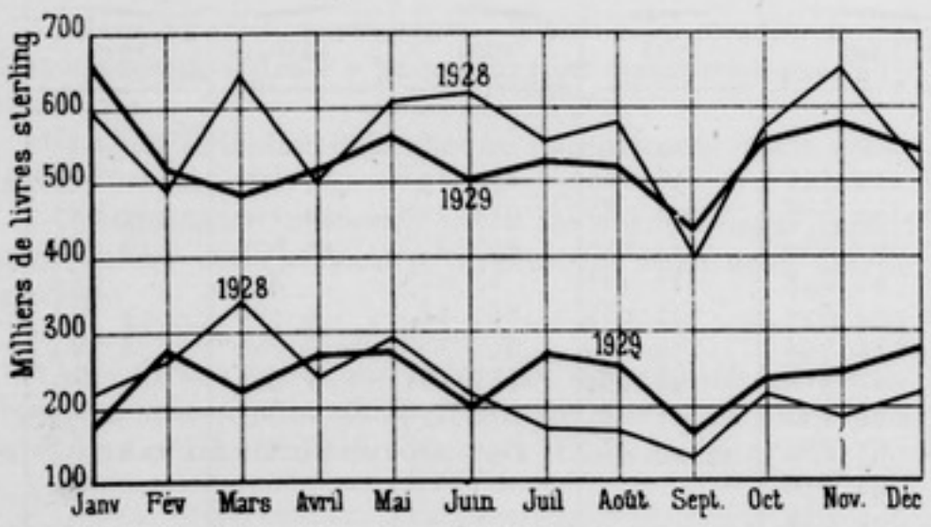


Fig. 2. — Variations des exportations mensuelles de machines électriques (à la partie supérieure) et d'appareils télégraphiques et téléphoniques (à la partie inférieure).

variations des exportations mensuelles d'instruments et appareils télégraphiques et téléphoniques.

Enfin la figure 3 donne les variations des exportations mensuelles de conducteurs et câbles isolés, non compris les câbles sous-marins, c'est-à-dire du matériel correspondant à l'ensemble des rubriques 2 et 12.

Sur le tableau II est indiquée la destination des exportations de machines électriques de la Grande-Bretagne pour les années 1928 et 1929. Ce tableau concerne donc l'ensemble du matériel électrique indiqué sur le tableau I aux rubriques 9, 10 et 11. On voit que les Indes britanniques restent le principal client de la

TABLEAU II. — *Destination des exportations de machines électriques de la Grande-Bretagne pour les années* 1928 *et* 1929.

DESTINATION	1928 livres sterling	1929 livres sterling	AUGMENTATION OU DIMINUTION livres sterling
Europe	1 094 081	1 270 414	+ 176 333
Japon	181 779	232 257	+ 50 478
Amérique du Sud	773 797	497 131	— 276 666
Afrique du Sud	465 024	511 236	+ 46 212
Indes britanniques	1 512 511	1 386 760	— 125 751
Australie	971 995	932 886	— 39 109
Nouvelle Zélande	358 889	245 662	— 113 227
Canada	252 758	309 575	+ 56 817
Autres contrées	1 081 426	971 495	— 109 931
	6 692 260	6 357 416	— 334 844

métropole malgré une diminution de 125 751 livres. La valeur des exportations sur le marché européen a

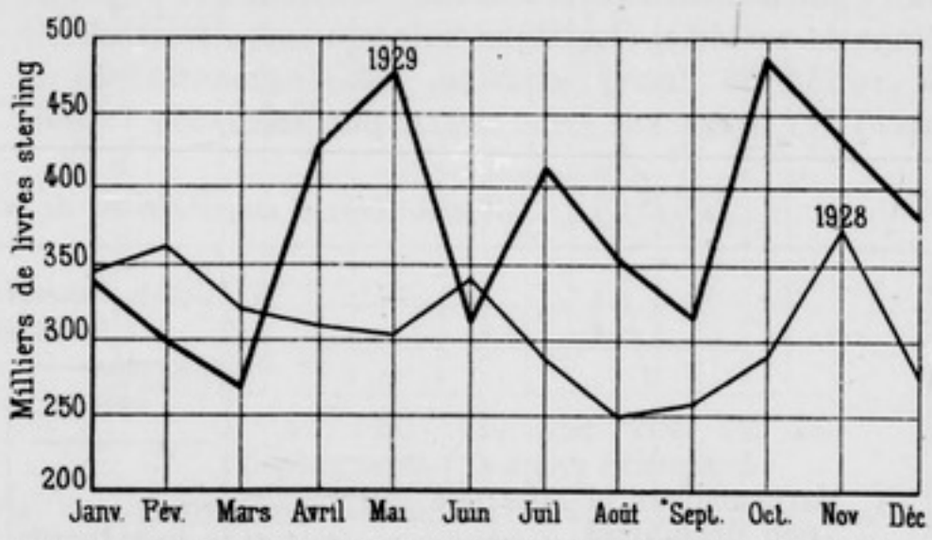


Fig. 3. — Variations des exportations mensuelles de conducteurs et câbles isolés, y compris les câbles télégraphiques et téléphoniques terrestres.

augmenté de 176 333 livres, tandis que celle des exportations en Amérique du Sud a diminué de 276 666 livres.

II. **Importations.** — La valeur des importations de matériel électrique s'est élevée à 8 399 929 livres sterling pour l'année 1929, en augmentation de 1 957 862 livres sur celle de l'année 1928. Elle ne représente que 0,68 pour 100 de la valeur totale des importations de la Grande-Bretagne (1 221 millions de livres), mais correspond à 30 pour 100 de la valeur des importations d'objets manufacturés (27,78 millions de livres).

Les principales augmentations sont relatives aux instruments et appareils télégraphiques et téléphoniques (901 785 livres), aux marchandises et appareils électriques non dénommés (381 311 livres), aux compteurs et instruments de mesure (228 532 livres), et aux machines électriques non énumérées (162 500 livres).

Les tracés de la figure 4 indiquent les variations de la valeur des importations mensuelles pendant les années 1928 et 1929. Sur la figure 5 sont représentées les variations concernant les machines électriques, c'est-à-dire l'ensemble des rubriques 9, 10 et 11 du

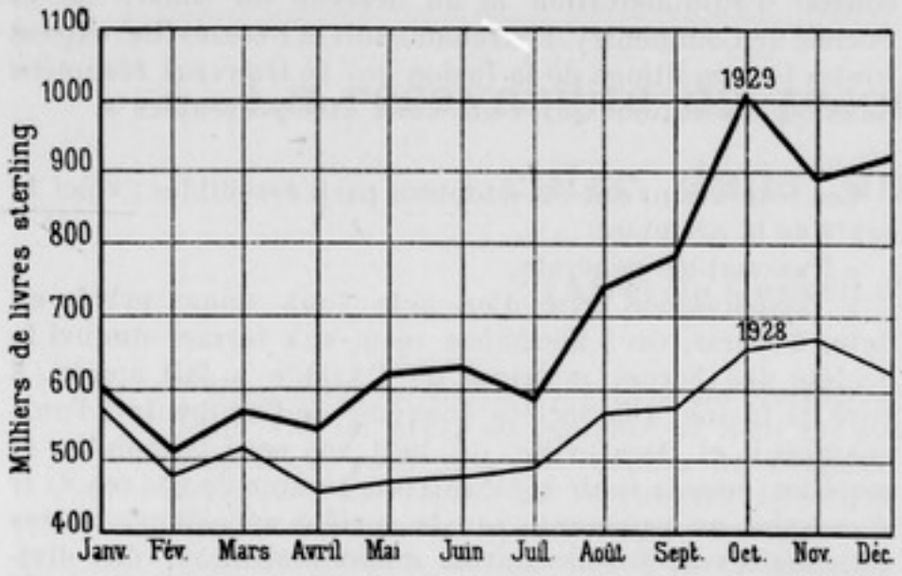


Fig. 4. — Variations de la valeur, en milliers de livres sterling, des importations mensuelles de matériel électrique pendant les années 1928 et 1929.

tableau I, et, par les lignes supérieures, les variations de l'ensemble des autres rubriques.

III. **Réexportations**. — Pour l'année 1929, la valeur des réexportations de matériel électrique a été

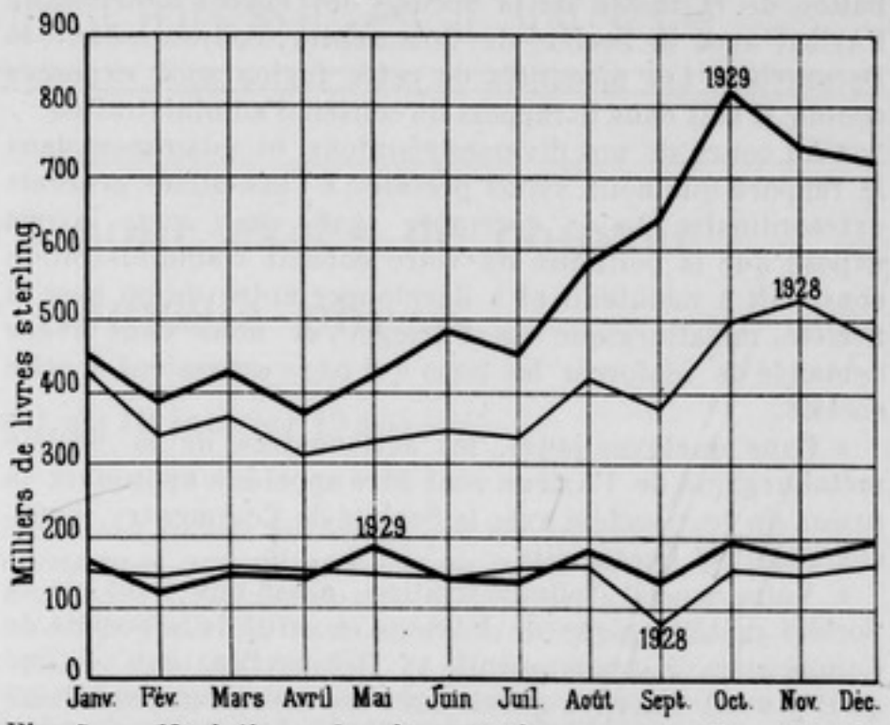


Fig. 5. — Variations des importations mensuelles de marchandises et appareils électriques (courbes supérieures) et de machines électriques (courbes inférieures).

de 345 141 livres, en augmentation de 34 522 livres sur celle de l'année 1928.

Assemblées générales

Société des Forces motrices de l'Ariège.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 14 JANVIER 1930.

D'après le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 9 600 000 fr et dont le siège social est à Paris, 5, rue Blanche, l'exercice 1928-1929, prenant fin le 30 septembre 1929, s'est déroulé dans des conditions un peu plus favorables que l'exercice précédent (1), et aurait dû accuser un bénéfice plus élevé; malheureusement, au cours de l'hiver dernier, une crue de l'Ariège a endommagé la prise d'eau de l'usine de Guilhot, et cet accident, qui a immobilisé l'usine pendant plusieurs mois, a entraîné une dépense de réfection s'élevant à 350 000 fr. D'autre part, la société a pu encore obtenir l'amélioration des contrats onéreux dont il a été question dans le rapport de l'an dernier et dont l'un, d'ailleurs, expire au mois d'août prochain.

Les résultats d'exploitation de l'exercice se sont élevés à 1 511 111,17 fr; le produit du portefeuille a été de 114 792,51 fr; soit, au total 1 625 903,63 fr. Les dépenses comprennent : frais d'administration, 214 962,54 fr; frais d'augmentation du capital (augmentation de 1 600 000 fr par suite de la création en janvier 1929 de 6 400 actions à vote plural de 250 fr) 158 090, 45 fr; amortissement, 250 000 fr.

Le bénéfice net est donc de 1 002 850,60 fr. Il est réparti comme il suit : réserve légale, 50 142,53 fr; dividende de 6 pour 100 aux actions, soit 15 fr à chacune des actions entièrement libérées et 3,75 fr à celles libérées du quart, 505 710 fr; au conseil d'administration, 44 699,81 fr; solde, 402 298,35 fr.

Ce solde, ajouté aux bénéfices reportés de 155 659,17 fr, donne un total de 557 957,52 fr, dont il est prélevé 384 000 fr pour dividende supplémentaire de 4 pour 100 à toutes les actions; le reste, 173 957,52 fr, est reporté à nouveau.

Le dividende total se trouve ainsi fixé à 25 fr par action.

BILAN AU 30 SEPTEMBRE 1929.

Actif.

		fr
Immobilisations au 30 septembre 1928	4 815 782,36	
Immobilisations de l'exercice	392 546,41	
	5 208 328,77	
Moins amortissements	250 000 »	
		4 958 328,77
Participations industrielles		2 898 160,45
Matières premières, approvisionnements, produits fabriqués		344 106,39
Compteurs en location		186 134,68
Actionnaires : trois derniers quarts restant à verser sur actions P		1 171 500 »
Débiteurs		1 500 723,61
Caisses, banques et portefeuille		2 567 726,19
		13 716 680,09

Passif.

	fr
Capital :	
32 000 actions O	8 000 000 »
6 400 actions P	1 600 000 »
Réserve légale	287 465,51
Réserve supplémentaire	1 000 000 »
Prime sur émission d'actions P	640 000 »
Fonds d'assurance accidents	271 134,85
Créditeurs	759 569,87
Bénéfices reportés	155 659,17
Bénéfices de l'exercice	1 002 850,69
	13 716 680,09

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 23 mars 1929, t. XXV, p. 366.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 14 JANVIER 1930.

Cette assemblée extraordinaire avait pour objet l'approbation de la fusion de la Société des Forces motrices de l'Ariège avec la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville. Les modalités de cette fusion sont exposées comme il suit dans le rapport du conseil d'administration.

« Au cours de nos diverses réunions, et notamment dans le rapport que nous avons présenté à l'assemblée générale extraordinaire du 17 décembre 1928, nous vous avons exposé que la politique de votre conseil d'administration consistait à maintenir et à développer notre union avec la Société métallurgique de l'Ariège, et nous vous avons demandé de renforcer les liens qui nous unissaient à cette société.

» Dans quelques jours, les actionnaires de la Société métallurgique de l'Ariège vont être appelés à approuver la fusion de leur société avec la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville.

» Votre conseil d'administration, ainsi que celui de la Société métallurgique de l'Ariège et celui de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville, ont estimé qu'il y avait intérêt à réunir dans les mêmes mains l'usine de Pamiers et l'ensemble des usines génératrices qui l'alimentent en énergie électrique, avec les chutes qui sont susceptibles d'être aménagées.

» Tandis que les moyens financiers dont nous disposons sont modestes, la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville possède toutes les ressources financières que peut nécessiter la mise en valeur complète de ce domaine hydraulique. Une telle fusion sauvegarde donc l'avenir de vos installations et en assure la meilleure utilisation ainsi que le développement éventuel.

» Le principe de la fusion étant admis, nous avons procédé à une étude comparative approfondie des éléments d'actif et de la situation des deux sociétés, de manière à définir une base d'échange équitable. La formule à laquelle nous sommes arrivées est en tout point avantageuse pour vous, puisqu'elle consolide votre situation d'actionnaires par une remise d'actions de capital de la Société anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville, dont la valeur, d'après les cours de la Bourse, correspond largement au cours que vos propres actions avaient atteint au moment des pourparlers.

» Les conditions de la fusion sont les suivantes :

» Nous apportons à la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville la totalité de notre actif immobilier et mobilier, ainsi que les résultats de nos exploitations à partir du 1er octobre dernier, et la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville prend en charge, à partir de la même date, la totalité de notre passif.

» En représentation de cet apport-fusion, les actionnaires de notre société recevront, après le détachement du coupon correspondant au dividende de l'exercice 1928-1929, une action de capital de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville pour trois actions des Forces motrices de l'Ariège ordinaires ou à vote plural.

» Nous tenons à préciser que les actions qui vous seront ainsi remises sont des actions de capital du nominal de 250 fr chacune, analogues à celles qui viennent d'être créées récemment par la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville, et participant aux bénéfices de l'exercice, de cette dernière société qui a commencé le 1er septembre dernier.

» Ces actions de capital seront immédiatement négociables, de sorte qu'il n'y aura aucune interruption dans la négociabilité des actions des Forces motrices que vous possédez et de celles de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville qui vous seront remises en échange.

» Le contrat, qui a été signé par un délégué de votre conseil d'administration et un délégué du conseil de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville, expose toutes les conditions de la fusion qui se trouvent résumées dans les résolutions qui vont vous être présentées ».

Ces résolutions ont été adoptées par l'assemblée; voici le texte de la première :

« L'assemblée générale,

» Connaissance prise d'un acte sous seings privés en date, à Paris, du 5 décembre 1929, aux termes duquel la Société des Forces motrices de l'Ariège a fait apport, à titre de fusion, à la Société anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville, de tout son actif immobilier et mobilier, sous la seule réserve d'une somme de 934409,81 fr nécessaire au paiement, par la société apporteuse, à ses actionnaires et à son conseil d'administration, des dividendes et tantièmes s'appliquant à l'exercice clos le 30 septembre 1929; lequel apport a eu lieu moyennant : 1° l'obligation et la charge, pour la Société anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville, d'acquitter aux lieu et place de la société apporteuse et de supporter tout le passif de celle-ci au 30 septembre 1929, et de payer les frais et impôts de sa dissolution et de sa liquidation, y compris un jeton de présence de 2 fr par action représentée à la présente assemblée; 2° et l'attribution à cette dernière société de 12 800 actions de capital de 250 fr chacune, de la catégorie A, entièrement libérées, de la Société anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville, à créer à titre d'augmentation de capital de la société absorbante, mais dont le nombre pourra être réduit, à raison d'une action de la société absorbante pour trois actions de la société absorbée, eu égard au nombre d'actions de cette dernière société qui, au moment où l'assemblée générale des actionnaires de la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville décidera l'augmentation de capital, seraient possédées par cette société et devraient, dès lors, être annulées.

» Approuve et accepte cet apport aux conditions stipulées audit acte, et donne au conseil d'administration tous pouvoirs nécessaires pour en poursuivre la réalisation définitive ».

La seconde résolution est relative à la dissolution de la Société des Forces motrices de l'Ariège; en voici un extrait :

« L'assemblée générale décide que, par le seul fait : 1° de l'approbation définitive par l'assemblée générale extraordinaire des actionnaires de la Société anonyme de Commentry, Fourchambault et Decazeville de l'apport dont il est question dans la première résolution; 2° de l'approbation, par une assemblée générale extraordinaire des actionnaires de la Société métallurgique de l'Ariège, de la fusion de cette société dans la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville; et à partir du jour de la dernière de ces approbations, la Société des Forces motrices de l'Ariège se trouvera dissoute de plein droit et en état de liquidation ».

Les porteurs d'actions P réunis ensuite en assemblée spéciale, ont approuvé, à l'unanimité, en tant qu'elles modifiaient leurs droits, les résolutions précédentes.

SECTION DE LÉGISLATION

La recevabilité du recours pour excès de pouvoir entre dans une nouvelle phase

(Arrêt du Conseil d'État du 10 janvier 1930)

Bien qu'il paraisse téméraire de considérer comme un succès un arrêt qui rejette une requête basée sur un excès de pouvoir, il n'en est pas moins vrai que désormais, au point de vue de la procédure, cette voie de recours au Conseil d'Etat sera grandement facilitée, par suite d'une décision très récente du 10 janvier 1930 que faisait prévoir déjà un arrêt du 26 janvier 1929. Nos lecteurs ne se laisseront pas tromper : bien qu'il s'agisse dans l'arrêt dont on va ci-dessous trouver le texte, de la création par un maire avec redevances au profit de la caisse municipale, d'une sorte de parc d'automobiles, la portée de la décision est absolument générale et nous servira quand il en sera besoin, même en ce qui concerne les conducteurs électriques placés sur les routes.

I. **Phase ancienne, phase intermédiaire de la jurisprudence en ce qui concerne la recevabilité d'un recours**. — S'il fallait décrire en détail les évolutions de la jurisprudence du Conseil d'Etat sur la recevabilité du recours pour excès de pouvoir, un volume important serait nécessaire.

Nous en donnons ci-dessous un résumé schématique qui démontre que le contrôle du Conseil d'Etat tend toujours à s'agrandir.

Pendant longtemps, le Conseil d'Etat a jugé irrecevable un *recours* contre tout *acte* réglementaire, quand ce recours n'était pas formé dans les deux mois de la publication de cet acte. A cette époque, il était interdit de se pourvoir même contre une mesure individuelle si elle trouvait sa source dans un acte réglementaire devenu inattaquable.

Le *premier* changement dont on ne saurait trop souligner l'importance se trouve dans l'arrêt du 13 mai 1910 concernant la Compagnie des Tramways de l'Est parisien (*Recueil du Conseil d'Etat*, p. 390). Cette compagnie avait attaqué un arrêté du préfet de la Seine lui prescrivant de prendre des précautions pour que les voyageurs ne fussent pas trompés par des indications relatives aux stations intermédiaires et placées sur des voitures circulant sans arrêt entre les deux points terminus. Ces précautions se trouvaient indiquées dans l'article 184 d'un règlement général qui, depuis longtemps, était devenu définitif, n'ayant pas été attaqué dans le délai légal : le Conseil d'Etat déclare la compagnie recevable à critiquer par la voie du recours l'application particulière d'un article contenu, dans une disposition générale qui, par suite de l'expiration d'un délai, ne peut plus être attaquée : cette première étape peut se résumer ainsi : « Les décisions individuelles même rendues en exécution d'une décision de principe non attaquée peuvent désormais être déférées au Conseil d'Etat et le requérant peut mettre en œuvre dans la discussion tous les arguments qu'il aurait présentés, si dans les délais légaux, il avait discuté la légalité de la décision de principe ».

Le *second* changement est la suite du premier. Il tombe sous le sens que des arrêtés réglementaires ne sont pas seulement rédigés pour imposer aux administrés telle ou telle mesure déterminée ; il en existe qui n'ont d'autre but que de prohiber certains faits. Le Conseil d'Etat admet aujourd'hui que celui qui est frappé par l'interdiction d'accomplir un acte peut demander une permission et si celle-ci lui est refusée, l'acte individuel de refus pourra être attaqué comme aurait pu l'être l'acte général d'interdiction. Pendant longtemps, un usage en quelque sorte épidémique s'était répandu de commune en commune dans certaines régions : les maires prenaient des arrêtés *généraux* pour interdire sans motif toutes les processions du culte. Dans les deux mois de leur publication ces arrêtés auraient été certainement annulés par le Conseil d'Etat qui n'a jamais admis une interdiction *générale* non basée sur un motif de sécurité ou d'ordre public. Il suffit aujourd'hui que le desservant d'une paroisse demande une permission et soit que le maire refuse sans un motif plausible, soit qu'il se retranche derrière son premier arrêté, soit qu'il ne réponde même pas, le recours pour excès de pouvoir est ouvert contre le refus individuel.

L'amélioration est donc importante ; en pratique elle est suffisante bien que, malheureusement, elle laisse subsister un arrêté général et qu'il soit gênant d'être obligé de solliciter la permission d'accomplir un fait qui n'aurait jamais dû être interdit.

Il était évident pour les initiés, que le Conseil d'Etat

continuerait son évolution, *qu'il chercherait et trouverait* le moyen d'annuler l'arrêté illégal; il paraissait seulement vouloir découvrir le fait juridique, susceptible de lui procurer une occasion plausible.

Il s'est contenté, pendant une certaine période, de saisir, quand elle se présentait, une circonstance assez incertaine, puisqu'elle supposait que l'initiative en serait prise par l'autorité elle-même. Il attendait que cette autorité mît en demeure le contrevenant à un acte réglementaire de se conformer à cet acte : cette mise en demeure constitue aux yeux du Conseil d'Etat un grief suffisant pour que l'intéressé la prenne comme base de son recours : par exemple, le maire de la commune de Vanves avait interdit de construire des maisons en bois à une distance inférieure à vingt mètres de toute autre construction, arrêté illégal parce que, si un maire peut prendre toutes les prescriptions destinées à empêcher la production ou la propagation des incendies, il ne lui est pas permis d'imposer dans toute la commune une restriction aussi générale du droit de construire. Or un sieur Vermot avait édifié deux maisons et le maire lui fit *injonction* d'avoir à se conformer à l'arrêté initial, en les démolissant : le Conseil d'Etata déclaré le pourvoi recevable « bien que l'injonction ne prescrivît pas l'exécution d'office et qu'elle ne comportât que les sanctions attachées aux règlements municipaux » (arrêt du 18 janvier 1929, *Recueil de Dalloz*, 1929, 3, p. 55, affaire Vermot).

Ou bien encore, le Conseil d'Etat trouvait une occasion de juger l'illégalité de l'acte réglementaire, dans le renvoi que le tribunal de simple police ordonnait sur une poursuite en contravention intentée contre le délinquant, mais ce renvoi qui conduit le juge de la contravention à surseoir à statuer, ne saurait être imposé au juge et même il faut reconnaître que la Cour suprême est très hostile à cette procédure.

II. **Phase définitive.** — Nous approchons de la dernière phase; l'arrêt du 26 janvier 1929 (affaire Retailleau, *Recueil de Dalloz*, 1929, I, p. 55, ne nous donne encore qu'une indication, mais elle est transparente. Un arrêté du 4 juin 1906, bien ancien évidemment, avait interdit toute manifestation cultuelle : le desservant Retailleau passa outre et fut condamné par le tribunal de simple police sans que cette juridiction eut sursis à statuer en renvoyant au Conseil d'Etat la question de la légalité de l'arrêté; d'autre part, il n'était pas contesté que l'arrêté de 1906 avait été légalement publié; donc soit par l'expiration du délai légal, soit par absence de renvoi au Conseil d'Etat, les deux moyens les plus connus échappaient au Conseil pour retenir l'affaire. On peut dire qu'en rejetant le pourvoi, il donne l'indication des moyens qu'aurait dû employer le desservant : le requérant, dit l'arrêt, ne saurait critiquer l'arrêté, « alors qu'il n'a pas adressé au maire une demande vis-à-vis de laquelle le refus ou le silence du maire pourrait permettre au juge de l'excès de pouvoir d'examiner *actuellement* la légalité de l'arrêté général de 1906. »

Quelle a été la pensée exacte du Conseil d'Etat en écrivant ce mot « *actuellement* »? Il n'échappera à personne que, depuis longtemps les conditions de l'existence, soit en fait, soit en droit (et notamment sur ce dernier point à raison des lois nouvelles) se sont modifiées d'une façon inouïe et déjà la Chambre criminelle a décidé (affaire Biosca, arrêt du 22 juin 1928, *Recueil de Dalloz*, 1929, I, p. 20) que l'arrêté d'un maire doit être considéré comme implicitement abrogé par les dispositions contraires contenues dans un décret pris en vertu d'une loi; il était permis de penser que le Conseil d'Etat se rendrait rapidement juge de la valeur actuelle d'un acte réglementaire. C'est le point qui rend si intéressant l'arrêt du 10 janvier 1930 dans la partie dont on trouvera ci-dessous le texte.

La décision du Conseil d'Etat s'analyse de la façon suivante :

1° Il est évident que la nécessité de se pouvoir contre un acte réglementaire, dans le délai de deux mois, à compter de la publication, est conservée; il ne pouvait pas en être autrement, cette obligation étant contenue dans la loi du 13 avril 1900 (art. 14);

2° Si l'intéressé estime qu'une loi nouvelle est venue modifier la situation pour laquelle l'acte réglementaire avait été pris, le délai de deux mois pour se pourvoir commence à ladite loi;

3° Si l'intéressé — et c'est là le point aussi nouveau qu'important — estime qu'il est dans le cas où les circonstances qui ont pu motiver légalement un règlement municipal ont disparu, il peut alors, à toute époque, saisir le maire d'une demande de suppression ou de modification du règlement intervenu.

Nous disons que c'est le point intéressant; peut-être un autre serait à citer, puisqu'il serait lu avec plaisir par les automobilistes. Le Conseil d'Etat reconnaît que le propriétaire d'une voiture, bien qu'il habite Bordeaux, du moment qu'il s'est vu décerner une contravention sur le territoire d'une autre commune a intérêt formel à discuter sur cette commune même la légalité du règlement, d'après lequel il a été condamné.

Au point de vue du droit, le nouvel élargissement de la recevabilité présente une grande importance et le point de vue juridique est le seul à considérer dans l'arrêt du 10 janvier, car, en fait, le Conseil d'Etat a jugé que le maire n'avait pas commis une œuvre illégale en prenant un arrêté, en vertu d'une délibération du Conseil municipal l'autorisant à indiquer à toutes les voitures de tourisme l'endroit où elles devraient stationner, en dehors de la grand route, étant donné le nombre des visiteurs des châteaux de la Loire.

III. **Texte de l'arrêt.** — Vu les lois des 7-14 octobre 1790, le 24 mai 1872, article 9; vu la loi du 5 avril 1884; la loi du 13 avril 1900, article 24,

Ouï M. Maspétiol, auditeur en son rapport; ouï Me Lussan, avocat du sieur Despujols en ses observations; ouï M. Andrieux, maître des requêtes, commissaire du gouvernement en ses conclusions;

Considérant que les deux requêtes susvisées sont

relatives à la réglementation des voitures automobiles de tourisme dans la commune de Chaumont-sur-Loire ; qu'il y a lieu dès lors de les joindre pour y être statué par une seule décison ;

Considérant qu'il *appartient à tout intéressé, dans le cas où les circonstances qui ont pu motiver légalement un règlement municipal ont disparu, de saisir à toute époque le maire d'une demande tendant à la modification ou à la suppression de ce règlement et de se pourvoir, le cas échéant devant le Conseil d'Etat contre le refus ou le silence du maire ;* mais que s'il entend former devant ledit Conseil un recours direct tendant à l'annulation pour excès de pouvoir du règlement lui-même il doit présenter ce recours dans le délai de deux mois à partir de la publication soit de l'arrêté attaqué, soit de la loi qui serait venue ultérieurement créer une situation juridique nouvelle ;

Considérant que les conclusions du sieur Despujols, qui, bien que n'étant pas habitant de la commune a qualité pour contester la légalité de l'arrêté du maire à raison du procès-verbal dressé contre lui pour infraction audit arrêté, tendent à l'annulation pour excès de pouvoir de cet acte réglementaire ; que ce recours rentre dès lors dans la dernière catégorie des réclamations susmentionnées et est soumis par suite aux considérations de délais y relatives.

Considérant qu'ayant été enregistré au Conseil d'Etat le 5 octobre 1926, alors que les deux arrêtés attaqués ont été publiés le 22 mai 1926, il a été formé en dehors du délai fixé par la loi du 13 avril 1900, article 24 ; que si le requérant invoque les dispositions de la loi du 13 août 1926 comme ayant créé une situation juridique nouvelle et ayant, par suite, ouvert un nouveau délai de recours pour excès de pouvoir, ladite loi ne vise ni les pouvoirs conférés au maire par l'article 98 de la loi du 5 avril 1884, ni ceux que l'article 133 paragraphe 7 de la même loi attribue au Conseil municipal ; que, dès lors étant sans application dans l'espèce, elle n'a pu ouvrir ce nouveau délai.

Le Conseil décide : les requêtes susvisées du sieur Despujols sont rejetées.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi abrogeant le paraphe et le visa annuels du livre journal et du livre des inventaires prescrits par l'article 10 du Code de Commerce.

Cette loi, en date du 15 janvier 1930 et publiée au « Journal officiel » du 17 janvier, page 570, supprime, comme l'indique son titre, une formalité de comptabilité que l'on devait remplir chaque année d'après la législation commerciale en vigueur. En voici le texte :

Article unique. — L'article 10 du Code de Commerce est ainsi modifié :

« *Art. 10.* — Le livre journal, le livre des inventaires et le livre de copies de lettres seront tenus par ordre de dates, sans blancs, lacunes, ni transports en marge ».

Arrêt de la Cour de Cassation concernant le versement des indemnités dues pour accidents du travail.

Le caractère d'ordre public de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail s'oppose à ce qu'en cas de mort ou d'incapacité permanente de la victime, le tiers responsable de l'accident se libère de sa dette de rente ou de pension autrement que par le versement à la Caisse nationale des Retraites du capital de cette rente ou de cette pension ; il s'ensuit que le tiers responsable ne saurait être tenu de rembourser à la compagnie d'assurances, substituée au chef d'entreprise pour le service de la rente, le capital mis en réserve par celle-ci à cette fin. C'est ce qui résulte de l'arrêt suivant rendu le 3 décembre 1929 par la Chambre civile de la Cour de Cassation cassant un arrêt du 29 février 1928 de la Cour d'Appel de Paris.

La Cour,

Sur les deux moyens réunis :
Vu l'article 7 § 2 de la loi du 9 avril 1898 ;
Attendu qu'aux termes de ce texte, en cas d'incapacité permanente ou de mort, l'indemnité due par le tiers responsable à la victime d'un accident du travail ou à ses ayants droit, doit être attribuée sous forme de rentes servies par la Caisse nationale des Retraites ;

Attendu que P..., ouvrier au service de Dionis et Samary, a été, le 14 septembre 1923, au cours de son travail, renversé par une voiture automobile de la Société des Transports en commun de la Région parisienne ; qu'à la suite de cet accident qui lui a occasionné une incapacité permanente partielle, cet ouvrier a obtenu, suivant procès-verbal de conciliation du président du Tribunal civil de la Seine, une rente annuelle et viagère de 204 fr, dont la Compagnie d'assurances l'*Abeille*, substituée à Dionis et Samary, assure le service ; que, sur l'action en indemnité, exercée par le chef d'entreprise contre la Société des Transports, tiers responsable de l'accident, la Compagnie l'*Abeille* est intervenue dans l'instance et, après désistement de ses assurés, a conclu au remboursement des sommes payées par elle pour les demi-salaires et les frais médicaux et judiciaires ainsi que du capital mis en réserve dans ses propres caisses pour le service de la rente allouée à P... ;

Attendu que la Société des Transports s'est déclarée prête à rembourser à la Compagnie l'*Abeille* uniquement les demi-salaires payés et les frais médicaux et judiciaires ; que l'arrêt attaqué l'a condamnée en outre à payer à l'*Abeille* le capital représentatif de la rente concédée, par le motif que cette compagnie, en versant à la réserve mathématique le capital affecté au service de cette rente, avait satisfait au regard tant des souscripteurs du contrat d'assurances que de la victime aux obligations imposées par la loi du 9 avril 1898 et par le décret du 28 février 1899, et se trouvait ainsi en droit de réclamer à la Société des Transports, tiers responsable, le remboursement des avantages et dépenses par elles faites ;

Mais attendu que le caractère d'ordre public de la loi précitée fait obstacle à ce qu'en cas de mort ou d'incapacité permanente de la victime, l'auteur responsable de l'accident se libère de sa dette de rente ou de pension autrement que par le versement à la Caisse nationale des Retraites du capital représentatif de ces rentes ou pensions ; d'où il suit

qu'en statuant comme il l'a fait l'arrêt attaqué a violé le texte ci-dessus visé ;

Par ces motifs,

Casse et annule, mais seulement en ce qu'il a condamné la Société des Transports en commun de la Région parisienne à rembourser à la Compagnie d'assurances l'*Abeille* le montant du capital de la rente annuelle et viagère de 204 fr servie par ladite compagnie à P..., au lieu d'ordonner le versement de ce capital à la Caisse nationale des Retraites, l'arrêt rendu entre les parties par la Cour d'Appel de Paris le 29 février 1928 et renvoie devant la Cour d'Appel d'Orléans.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant la législation sur les accidents du travail.

D'après cet arrêt, toute lésion dont le travail, même normal, a été la cause, doit être considérée comme résultant d'un accident, au sens de la loi du 9 avril 1898; spécialement, constitue une lésion survenue à l'occasion du travail, l'arthrite tuberculeuse qu'a fait apparaître et a « décelé » le travail pénible auquel se livrait l'ouvrier.

Voici le texte de cet arrêt, rendu par la Chambre civile le 18 novembre 1929 et cassant un jugement du Tribunal départemental d'Eure-et-Loir, du 24 mai 1928.

La Cour;

Sur le moyen unique :

Vu l'article 1er, § 1, de la loi du 9 avril 1898;

Attendu que toute lésion, dont le travail, même normal, a été la cause ou l'occasion, doit être considérée comme résultant d'un accident, au sens de la loi du 9 avril 1898;

Attendu qu'il résulte des qualités et des motifs du jugement attaqué que Sch..., ouvrier monteur en chaussures, au service de Berlyn, industriel, a, le 10 septembre 1926, été pris d'une si vive douleur au poignet droit qu'il a dû abandonner son travail;

Attendu que, sur l'action en payement des demi-salaires formée par l'ouvrier contre le chef d'entreprise, le jugement attaqué, réformant la décision du juge de paix, a écarté la demande, motif pris de ce que l'examen médical auquel il a été soumis a révélé que « l'arthrite à forme tuberculeuse dont souffre Sch... est diathésique, sans cause traumatique, et absolument indépendante d'un accident quelconque; que, d'ailleurs, aucun traumatisme n'a été constaté et qu'en conséquence, la matérialité de l'accident ne peut être admise »;

Mais attendu que le jugement constate lui-même que le travail, auquel se livrait Sch..., dans le courant de la journée de l'accident, était pénible, et qu'il a eu pour effet de faire apparaître, de « déceler » le mal, jusque-là latent; que c'est, au cours de ce travail, qu'il a ressenti la douleur qui le lui a fait abandonner et que les experts, commis par jugement d'avant faire droit, ont conclu que la lésion pouvait être considérée comme la suite de l'accident; que ces constatations suffisent à établir que si le travail n'a pas été la cause de la lésion, il en a du moins été l'occasion; qu'il y a donc eu accident du travail; d'où il suit qu'en décidant le contraire, le jugement attaqué n'a pas déduit les conséquences légales des faits par lui constatés et a violé le texte susvisé.

Par ces motifs, casse... renvoie devant le Tribunal de Seine-et-Oise, section de Versailles.

Sur le droit qu'ont les locataires d'effectuer des installations électriques dans les lieux loués.

Le « Journal officiel » du 18 janvier 1930 publie, page 47, des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

6930. — M. Piquemal demande à M. le ministre de la Justice : 1° si un locataire, désireux de faire installer à ses frais l'électricité dans le local qu'il occupe, doit préalablement obtenir l'autorisation du propriétaire; 2° si le propriétaire a le droit d'exiger de son locataire le versement d'une somme forfaitaire à titre d'indemnisation, alors qu'il n'a eu aucun frais à supporter pour l'installation de la colonne montante; 3° quel serait, en cas de désaccord entre le propriétaire et le locataire, le tribunal compétent pour juger le différend. (Question du 27 décembre 1929.)

Réponse. — 1° et 2° L'article 14 de la loi du 1er avril 1926, modifiée et complétée par la loi du 29 juin 1929, dispose, en son dernier alinéa, que le bailleur ne peut s'opposer aux installations qui ne peuvent diminuer la valeur des lieux loués, telles que celle de l'électricité, etc., que le locataire réalise lui-même à ses frais; 3° il semble, sous réserve de l'interprétation judiciaire, qu'en cas de contestation entre les parties intéressées, la juridiction des loyers soit compétente pour statuer sur le litige.

Sur le mode d'imposition applicable aux gérants des sociétés à responsabilité limitée.

Le « Journal officiel » du 31 janvier 1930 publie, pages 302, 303 et 304 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent :

5552. — M. Jules Boyer demande à M. le ministre des Finances quel est, par application de l'article 4 de la loi de finances du 30 décembre 1928, le mode d'imposition aux cédules des émoluments alloués à trois associés, gérants d'une société à responsabilité limitée qui possèdent ensemble : le premier 320 parts, le second 40 parts et le troisième 40 parts. (Question du 22 octobre 1929.)

Réponse. — Si les 400 parts possédées par les associés-gérants dont il est question représentent plus de la moitié des parts sociales, les rémunérations allouées auxdits associés-gérants doivent être comprises dans les bases de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dû par la société. Dans le cas contraire, ces rémunérations conservent le caractère de charges sociales déductibles et elles sont passibles de l'impôt sur les traitements et salaires au nom de chaque bénéficiaire.

5798. — M. Georges Bonnet rappelle à M. le ministre des Finances que les gérants de sociétés à responsabilité limitée, depuis un décret du 2 février 1929, ne peuvent déduire leurs appointements des frais généraux et demande si ces dispositions sont applicables pour l'exercice 1928. (Question du 7 novembre 1929.)

Réponse. — Le régime fiscal des appointements des gérants des sociétés à responsabilité limitée est fixé par l'article 4 de la loi du 30 décembre 1928, lequel dispose que, pour la détermination des bases des impôts cédulaires dus par les sociétés à responsabilité limitée, les rémunérations allouées aux associés-gérants et portées dans les frais et charges ne sont pas admises en déduction lorsque la majorité des parts sociales est possédée par l'ensemble des associés-gérants. Cette disposition étant applicable pour l'établissement de l'impôt dû au titre de l'année 1929, d'après les résultats de l'exercice précédent, il s'ensuit que, pour les sociétés envisagées, les rémunérations de l'espèce portées dans les frais et charges de l'exercice 1928 doivent être réintégrées dans les bénéfices imposables.

6059. — M. Ernest Flandin demande à M. le ministre des Finances si le directeur général d'une société à responsabilité limitée, porteur de la majorité des parts sociales et nommé par le gérant, a le droit de faire déduire ses appointements de directeur, des bénéfices de la société, pour le calcul de l'impôt cédulaire payé par ladite société. (Question du 13 novembre 1929.)

Réponse. — Réponse négative. Les appointements du directeur général, qui exerce en fait les fonctions de gérant et qui possède la majorité des parts sociales, doivent, par application de l'article 4 de la loi du 30 décembre 1928, être compris dans les bases de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux dû par la société.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 11. — 15 MARS 1930.

Chronique. — Concours international de dépoussiérage des fumées industrielles, p. 393. — **Bibliographie** : La balance à calcul, par Stanislas MILLOT, p. 393; Les produits réfractaires, par Robert LEDUC, p. 394; Guide de l'ingénieur technico-comptable, par Léon MELOT, p. 394.

Section scientifique et technique. — Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne (*suite et fin*), par Joseph-Maxime PESTARINI, p. 395. — Revues, analyses et informations : Les taches anodiques, p. 406; Variation de la constante diélectrique avec la fréquence, p. 408; Dispersion des particules β par les gaz légers et moment magnétique de l'électron, p. 408; Les variations de fréquence des oscillateurs à lampes, p. 409; Sur la radioactivité de divers métaux provenant de toitures anciennes, p. 410.

Section industrielle. — La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension, par René THURY, p. 411. — La compensation hydraulique de la charge des usines génératrices thermiques, par J. MATHIVET, p. 419. — Revues, analyses et informations : Le moteur Dassenoy, p. 422; La production de l'énergie de pointe au moyen de groupes Diesel-génératrice, p. 423; La soudure des métaux ferreux et non ferreux par la flamme de l'hydrogène atomique. p. 424.

Section économique et financière. — L'évolution des questions ouvrières et sociales pendant l'année 1929, p. 425. — Assemblées générales : Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz, p. 430.

Section de législation. — Les frais d'une émission d'action avec prime sont déductibles des bénéfices de l'exercice pour arriver au bénéfice taxable (Arrêt du Conseil d'Etat du 20 décembre 1929), par Paul BOUGAULT, p. 431.

Concours international de dépoussiérage des fumées industrielles. — D'après la « Revue de l'Exposition de Liége » un comité spécial, présidé par M. Firquet, inspecteur général des Mines, est chargé d'organiser un concours international en vue de déterminer les qualités des divers dispositifs de dépoussiérage des fumées industrielles actuellement en usage. Ce comité est formé de professeurs, de fonctionnaires et d'industriels.

Les appareils présentés au concours seront installés dans un hall qui sera construit sur un terrain situé derrière le bâtiment du Génie civil et mis à la disposition du comité par la Société intercommunale belge d'Electricité. Ce sont les gaz produits par les chaufferies au charbon pulvérisé de l'usine de cette société qui serviront aux essais. Les concurrents devront créer eux-mêmes la dépression nécessaire pour vaincre le tirage de la cheminée et la résistance à l'écoulement des gaz dans la conduite d'amenée de façon à pouvoir faire passer dans leurs appareils, par seconde, un volume de 3 à 6 m³ de fumée à la température de 140° C environ. Cette fumée pourra contenir jusqu'à 15 g de poussières par mètre cube. Des dispositions seront d'ailleurs prises pour pouvoir introduire dans la conduite générale d'alimentation des fumées et des poussières de diverses natures.

Ajoutons que, d'après la note concernant ce concours publiée dans « La Revue de l'Exposition de Liége », cinq constructeurs, tant belges que français, se sont fait inscrire pour participer aux épreuves.

Bibliographie : La balance à calcul, par Stanislas MILLOT (1). — La balance à calcul se compose essentiellement d'une planchette rectangulaire de format 56 cm × 13 cm montée en balance sur deux couteaux en ligne droite qui sont portés eux-mêmes par des pièces adaptées latéralement à la planchette de telle sorte que l'arête inférieure de ces couteaux tombe un peu au-dessus du centre de gravité de celle-ci. Le système étant posé sur un support, la face supérieure de la planchette doit, par construction, se tenir naturellement horizontale quand on ne fait agir sur elle aucune force perturbatrice. Sur cette face supérieure ou, mieux, sur des feuilles de papier séparées qui peuvent ensuite y être collées, on trace des échelles graduées perpendiculaires à l'axe d'oscillation.

Telle est la réalisation matérielle de la balance. Le principe du tracé des échelles est le suivant. Sur l'échelle relative, par exemple, à une fonction f (x), la graduation de cote a sera distante de l'axe d'oscillation d'une longueur $m \log f(a)$, m étant un module choisi arbitrairement (l'auteur a adopté 250 mm). Le logarithme considéré est le logarithme vulgaire. Donc, si la fonction f (x) se réduit à un nombre et que $a = 10$, comme le logarithme vulgaire de

(1) Une brochure, format 25 cm × 16 cm, de 19 pages et 1 planche hors texte, éditée par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6). Prix : broché, 10 fr; la planche seule : 2 fr.

10 est l'unité, on aura $m \times 1 = 250$ mm ; la division 10 de l'échelle des nombres est à 250 mm de l'axe d'oscillation.

La graduation de même cote a, pour une échelle relative à l'inverse de la fonction f (x), serait évidemment à la distance $-m \log f(a)$. Les échelles relatives à une fonction et à son inverse sont donc égales, mais de sens contraires, chaque échelle positive est donc doublée d'une échelle négative.

Si l'on pose un poids p sur la graduation a de l'échelle (sens positif) relative à f (x), le moment de ce poids par rapport à l'axe d'oscillation est

$$pm \log f(a) = m \log [f(a)]^p ;$$

donc, pour élever un nombre à une puissance p, il suffit de placer sur ce nombre un poids égal à l'exposant de la puissance et d'établir l'équilibre au moyen d'un second poids déplacé sur l'échelle relative à l'inconnue.

Ces quelques lignes semblent suffire pour donner une idée du fonctionnement de la balance à calcul qui comprend encore d'autres échelles pour les sinus, les tangentes, les logarithmes et les fonctions e^x.

Pour conclure, on peut dire que la balance à calcul permet d'effectuer tous les calculs possibles que permet la règle à calcul mais avec une précision un peu moins grande ; par contre son champ d'application est beaucoup plus étendu, comme on vient de le voir. Elle doit donc faire partie de l'outillage ordinaire des ingénieurs, comme de tous ceux qui ont à exécuter fréquemment des calculs n'exigeant pas une grande précision. — B. C.

Bibliographie : Les produits réfractaires, par Robert Leduc (1). — On appelle produits réfractaires les matériaux résistants à l'action d'une haute température, soit environ 1 580°C et aux effets physiques, chimiques et dynamiques, qu'ils peuvent subir à cette température.

L'auteur commence par étudier les matières premières telles que : les argiles réfractaires, la silice, la bauxite, la magnésie, la chaux et la dolomie, le carborundum, le charbon, le graphite et la chromite. Il les définit, donne leur composition, indique leur provenance et enfin analyse leurs propriétés physiques et chimiques.

Une deuxième partie, la plus importante de cet ouvrage, est consacrée à l'étude de la fabrication des produits réfractaires. L'auteur classe d'abord les briques réfractaires en briques à haute teneur en alumine, briques de silice, briques d'argile, briques silico-alumineuses, briques de magnésie, briques de dolomie, briques de carborundum, briques de graphite et briques de chrome et enfin briques de zircon et d'oxydes de métaux de terres rares. Il étudie leur composition et leurs différents modes de fabrication en pâte dure ou en pâte molle et les genres d'installation que ces fabrications nécessitent. Ensuite, il indique leurs traitements : trituration, blutage, tamisage, dosage, malaxage, étirage, séchage, etc., puis il décrit les appareils employés pour ces traitements, tels que : les appareils de mouillage, les appareils coupeurs et surtout les fours. Dans ce chapitre l'auteur traite aussi des autres produits réfractaires : tels que ceux à base de magnésie, de chaux, de ciment, etc.

Tous ces produits réfractaires sont fabriqués de manière à être utilisés chacun dans un but bien défini. On les emploie principalement, ainsi que l'auteur le montre en détail, pour le revêtement des foyers de générateurs à vapeur, pour les gazogènes et les fours à plâtre, à chaux ou à ciment, les fours de verrerie, les fours à coke, les hauts fourneaux, les fours électriques, etc.

Ces produits doivent donc être soigneusement échantillonnés et analysés au laboratoire, mais on ne peut adopter une brique réfractaire suivant sa composition chimique, l'analyse étant plus intéressante pour suivre la fabrication dans une usine de produits réfractaires que pour un client qui veut adopter un produit, il faut connaître également l'état du composé et en particulier examiner si on se trouve en présence d'un mélange ou d'une combinaison. C'est là le but des essais qui permettent d'établir des caractéristiques pour chaque échantillon.

Le volume se termine par un court exposé des modes opératoires du laboratoire officiel du syndicat des fabricants de produits céramiques de France.

En résumé, cet ouvrage présente un exposé très complet de l'état actuel de l'industrie des produits réfractaires dans le monde et en particulier en France. — I. F.

(1) Un volume format, 24 cm × 16 cm, de 320 pages, avec 186 figures dans le texte et 25 tableaux dans le texte, édité par la librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : relié, 82 fr.

Bibliographie : Guide de l'ingénieur techno-comptable, par Léon Melot (1). — Ainsi que l'indique l'auteur dans son avant-propos, ce livre n'est pas un traité de comptabilité et pas davantage un manuel d'exploitation des entreprises de production et de distribution d'énergie électrique. On y traite parallèlement des questions techniques et des problèmes comptables afin de remédier au manque de liaison qui existe souvent entre les ingénieurs et les comptables de ces entreprises. L'auteur a essayé de faire connaître au comptable quels sont les rouages de la machine dont il enregistre les mouvements ; à l'ingénieur il a essayé d'inculquer l'idée que tous ses effets d'invention et d'organisation seront vains s'ils ne concourent pas à la réalisation du critérium de toute installation industrielle, à savoir obtenir le maximum de résultats avec le minimum de dépenses.

Afin de créer cette liaison, l'auteur a imaginé de créer un service de contrôle techno-comptable, dirigé par un ingénieur possédant en comptabilité des connaissances suffisantes pour contrôler efficacement les travaux comptables, analyser les résultats d'exploitation à la fin d'un exercice et pouvoir ainsi signaler à son collègue d'exploitation les erreurs qui peuvent découler au point de vue commercial de l'application de méthodes plus théoriques que pratiques.

Au cours de cet ouvrage on trouvera exposé le fonctionnement de cet organisme de liaison entre les deux services. Les exemples d'application ont été multipliés et dans la troisième partie on trouve, avec de nombreux détails, divers modèles de réglure des livres. De plus, on a fait appel, toutes les fois qu'il était possible, aux textes législatifs qui réglementent la distribution de l'énergie électrique.

L'auteur estime que grâce au fonctionnement de ce service techno-comptable on possède une garantie complète pour la surveillance des opérations et pour l'interprétation impartiale des résultats généraux de l'exploitation. Il semble, en fait, qu'une telle organisation comptable est de nature à donner des résultats satisfaisants, c'est pourquoi l'ouvrage de M. Melot sera certainement profitable à tous les ingénieurs intéressés aux entreprises de production et de distribution d'énergie électrique. — I. F.

(1) Un volume, format 23 cm × 17 cm, de 416 pages, édité par l'École spéciale des Travaux publics, 3, rue Thénard, à Paris (6e). Prix : broché, 35 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne

(Suite et fin) (*)

IV. Régime stationnaire du montage en Y de la métadyne. — 1. Le montage en Y de la métadyne. — Nous avons décrit dans ce qui précède les principes intervenant dans l'établissement d'une métadyne ; le domaine des applications des procédés examinés est très étendu, mais la méthode à adopter pour l'étude du fonctionnement est à peu près la même pour ces diverses applications quel que soit le schéma fondamental. Il suffira donc d'examiner quelques-uns de ces schémas. Afin de simplifier l'exposé nous avons pris comme exemple un schéma très simple, mais présentant les caractères fondamentaux du fonctionnement des métadynes, bien qu'il ne soit pas parmi ceux qui sont le plus fréquemment employés. Mais nous reprendrons ensuite l'examen de ces derniers pour relever quelques-unes de leurs particularités.

La métadyne considérée est transformatrice, c'est-à-dire établie pour transformer toute l'énergie électrique qu'elle reçoit en énergie électrique d'une autre nature, aux pertes près, bien entendu. Une forme très simple est celle du montage « en Y » indiqué par le schéma fondamental de la figure 4. Nous supposons que la métadyne proprement dite a un seul collecteur et que son arbre est solidaire de celui d'une régulatrice. Soient a, b, c les trois balais (fig. 36); sur ce schéma nous n'avons pas représenté la régulatrice. I_a, I_b, I_c représentent les courants allant aux balais correspondants et I_φ le courant traversant l'enroulement statorique du régulateur. L'enroulement est en tambour à pas diamétral et deux balais a et b sont diamétralement opposés ; on aura donc quatre segments polaires statoriques seulement. Les bornes A et B auxquelles aboutissent les conducteurs partant des balais a et b, après avoir parcouru les enroulements statoriques, sont connectées à la ligne et la borne C, à l'appareil conduit Q.

2. Equations du régime stationnaire. — Il y a trois courants différents I_a, I_b, I_c allant aux balais; trois tensions différentes V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} ; et enfin le courant I_φ du régulateur; donc pour la généralité nous disposerons autour de chaque segment polaire sept bobines élémentaires et nous aurons pour le segment polaire immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa

$$S_A = S_{A1} I_a + S_{A2} I_b + S_{A3} I_c + S_{A4} V_{ab} + S_{A5} V_{bc} + S_{A6} V_{ca} + S_{A7} I_\varphi, \qquad (29)$$

où S_{A1}, S_{A2},... S_{A7} sont des constantes; on a des relations analogues pour les segments polaires. Posons pour simplifier

$$g_{bc} = g \quad \text{et} \quad g_{ab} = \nu g.$$

En se conformant aux formules et règles du paragraphe III, les conventions du paragraphe I étant en

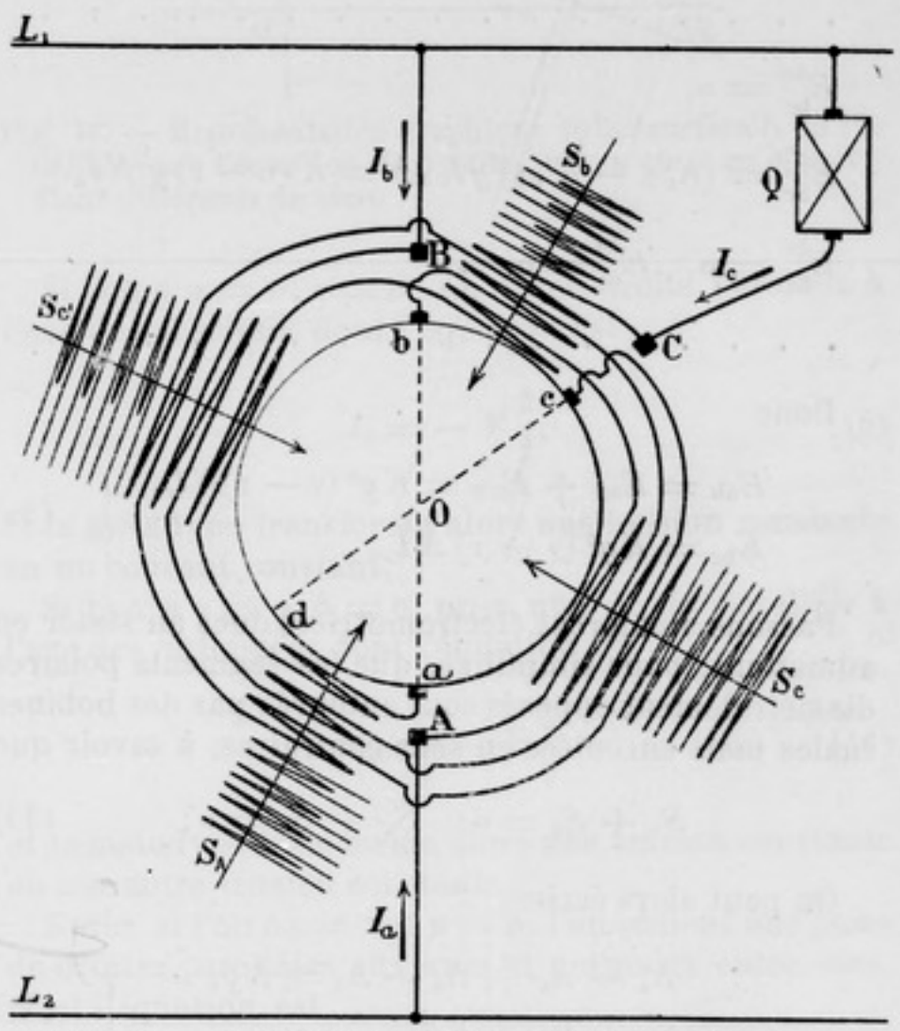


Fig. 36. — Schéma du montage en Y de la métadyne.

vigueur, en partant du système de courants d'induit fictifs suivant

$$I_{ca} = 0, \quad I_{ab} = I_a, \quad I_{bc} = I_a + I_b = -I_c. \qquad (30)$$

et en observant que le tambour à pas diamétral permet les simplifications suivantes

$$\left.\begin{aligned} K_{ab} - K'_{ab} &= Kg, \\ K_{bc} - K'_{bc} &= K\nu g, \\ K_{ca} - K'_{ca} &= K(\nu - 1)\, g, \end{aligned}\right\} \qquad (31)$$

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 8 mars 1930, t. XXVII, p. 355-365.

nous obtenons les forces électromotrices suivantes dues au rotor :

$$E_{ac'}^{ac'} = 0,$$

$$E_{a'c}^{c'b} = (K'_{c'b} - K_{c'b})\, g I_{c'b} N = -K(\nu - 1)\, g^2 N I_a,$$

$$E_{ac'}^{bc} = 0, \quad E_{ac'}^{ca} = 0.$$

. . . . . .

$$E_{c'b}^{ac} = (K_{ac'} - K'_{ac})(\nu - 1)\, g I_{ac'} N = K(\nu - 1)\, g^2 N I_a,$$

$$E_{c'b}^{c'b} = 0,$$

$$E_{cb}^{bc} = (K'_{bc} - K_{bc})(\nu - 1)\, g I_{bc} N = K(\nu - 1)\, g^2 N I_c,$$

$$E_{c'b}^{ca} = 0,$$

. . . . . .

$$E_{bc}^{ac'} = 0,$$

$$E_{bc}^{c'b} = (K_{c'b} - K'_{c'b})\, g I_{c'b} N = K(\nu - 1)\, g^2 N I_a,$$

$$E_{bc}^{bc} = 0, \quad E_{bc}^{ca} = 0.$$

. . . . . .

Donc

$$\left.\begin{aligned} E_{ab} &= E_{ac'} + E_{c'b} = K g^2 (\nu - 1) N I_c, \\ E_{bc} &= K g^2 (\nu - 1) N I_a. \end{aligned}\right\} \quad (32)$$

Passons aux forces électromotrices dues au stator en admettant, pour simplifier, que les segments polaires diamétralement opposés sont entourés par des bobines égales mais enroulées en sens contraires, à savoir que

$$S_A + S_B = 0; \quad S_{c'} + S_c = 0; \qquad (33)$$

On peut alors écrire

$$\left.\begin{aligned} \Lambda_A - \Lambda_{A'} &\equiv \Lambda_A - \Lambda_B = \Lambda g, \\ \Lambda_{c'} - \Lambda_c &= \Lambda(\nu - 1)\, g, \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

et nous obtenons

$$U_{ab} = \Lambda N (g S_A + (\nu - 1)\, g S_{c'}),$$
$$U_{bc} = -\Lambda N g S_A,$$

d'où les équations du rotor

$$\left.\begin{aligned} V_{ab} &= K g^2 (\nu - 1) N I_c + \Lambda N (g S_A + (\nu - 1)\, g S_{c'}) \\ V_{bc} &= K g^2 (\nu - 1) N I_a - \Lambda N g S_A. \end{aligned}\right\} \quad (35)$$

Puisque nous ne considérons maintenant que le régime stationnaire, l'action de la régulatrice s'exprime en écrivant que le couple est nul, ce qui conduit à l'équation suivante de la régulatrice

$$V_{ab} I_a - V_{bc} I_c = 0\ (^1). \qquad (36)$$

Remplaçons S_A et $S_{c'}$ dans les formules (35) par leurs expressions (29) en remarquant que

$$\left.\begin{aligned} I_a + I_b + I_c &= 0, \\ V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} &= 0, \end{aligned}\right\} \quad (37)$$

et nous aurons le groupe des équations internes au nombre de 5 : les deux équations (35), l'équation (36) et les deux équations (37), entre les huit variables I_a, I_b, I_c, V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}, I_φ, N.

Ecrivons maintenant que les bornes A et C de la métadyne sont connectées au réseau duquel la tension est la fonction V, soit

$$V_{ab} = V; \qquad (38)$$

écrivons l'équation de l'appareil conduit

$$Q(I_a, I_b, \ldots I_\varphi, N) = 0, \qquad (39)$$

et nous aurons le groupe des équations externes, au nombre de deux. Les équations internes et externes définissent le régime stationnaire en fonction d'une des huit variables indiquées plus haut (c'est-à-dire nous avons ici $q = 1$, où q est le nombre de variables indépendantes).

Les courants et les tensions fournis à l'appareil conduit sont les deux variables I_c et V_{bc}. En éliminant entre les équations internes et l'équation (38) (six équations en tout), cinq parmi les huit variables indiquées plus haut, on aura une équation entre trois de ces variables qui sera une équation caractéristique du montage en Y de la métadyne. Il y a donc

$$\frac{8.7.6.5.4}{5!} = 56$$

équations caractéristiques, dont les plus importantes sont celles qui contiennent les variables I_c et V_{bc}, équations que nous appellerons « équations caractéristiques fondamentales ».

3. Caractéristique fondamentale de la métadyne en Y. — Un cas simple, très fréquent en pratique, est celui où la tension V du réseau est une constante, et où la vitesse N de la métadyne est maintenue sensiblement constante par la régulatrice. Dans ce cas, en éliminant

(1) La forme générale de l'équation de la régulatrice, compte tenu des conventions du paragraphe 1, est pour une métadyne transformatrice

$$\sum_{g=a}^{h} V_g I_g = 0, \qquad (36\text{ bis})$$

l'indice $g = a, b \ldots, h$ étant celui des balais, en nombre h.

de suite encore deux variables I_b et V_{ca} à l'aide des équations (37) on réduit le nombre de variables à quatre I_a, I_c, V_{bc}, I_ρ, liées par trois équations seulement, les deux équations (35) et l'équation (36); il y a donc six équations caractéristiques seulement dont une seule fondamentale.

Cette équation caractéristique fondamentale est de la forme

$$\alpha V_{bc} I_c + \beta V I_c + \gamma V V_{bc} + \delta V^2 = 0, \qquad (40)$$

où pour simplifier nous avons posé

$$\left.\begin{aligned}
\alpha &= [g^2 K N(\nu-1) - g\Lambda N(S_{\lambda 1} - S_{\lambda 2})](S_{\lambda 7}^2 + (\nu-1) S_{c'7}) \\
&\quad + g\Lambda N S_{\lambda 7}[S_{\lambda 1} - S_{\lambda 2} + (\nu-1)(S_{c'1} - S_{c'2})], \\
\beta &= g\Lambda N(S_{\lambda 2} - S_{\lambda 3})(S_{\lambda 7} + (\nu-1) S_{c'7}) + S_{\lambda 7}[g^2 K(\nu-1) N \\
&\quad + \Lambda N g(S_{\lambda 3} - S_{\lambda 2}) - g(\nu-1)\Lambda N(S_{c'3} - S_{c'2})], \\
\gamma &= g\Lambda N(S_{\lambda 6} - S_{\lambda 5})(S_{\lambda 7} + (\nu-1) S_{c'7}) - (S_{\lambda 7} + (\nu-1) S_{c'7}) \\
&\quad + S_{\lambda 7} g\Lambda N[S_{\lambda 5} - S_{\lambda 6} + (\nu-1)(S_{c'5} - S_{c'6})], \\
\delta &= g\Lambda N(S_{\lambda 6} - S_{\lambda 4})(S_{\lambda 7}^2 + (\nu-1) S_{c'7}) \\
&\quad + g\Lambda N S_{\lambda 7}[S_{\lambda 4} - S_{\lambda 6} + (\nu-1)(S_{c'7} - S_{c'6})] - S_{\lambda 7}.
\end{aligned}\right\} \qquad (41)$$

Pour aboutir à cette équation il faut diviser les deux membres d'une équation intermédiaire par le terme

$$g\Lambda N(S_{\lambda 7}^2 + (\nu-1) S_{c'7});$$

l'équation (40) et ses conséquences ne sont donc valables que si ce terme est différent de zéro.

Si l'on porte V_{bc} en abscisses et I_c en ordonnées, l'équation caractéristique fondamentale (40) représente pour $\alpha \neq 0$ une hyperbole (fig. 37) dont les

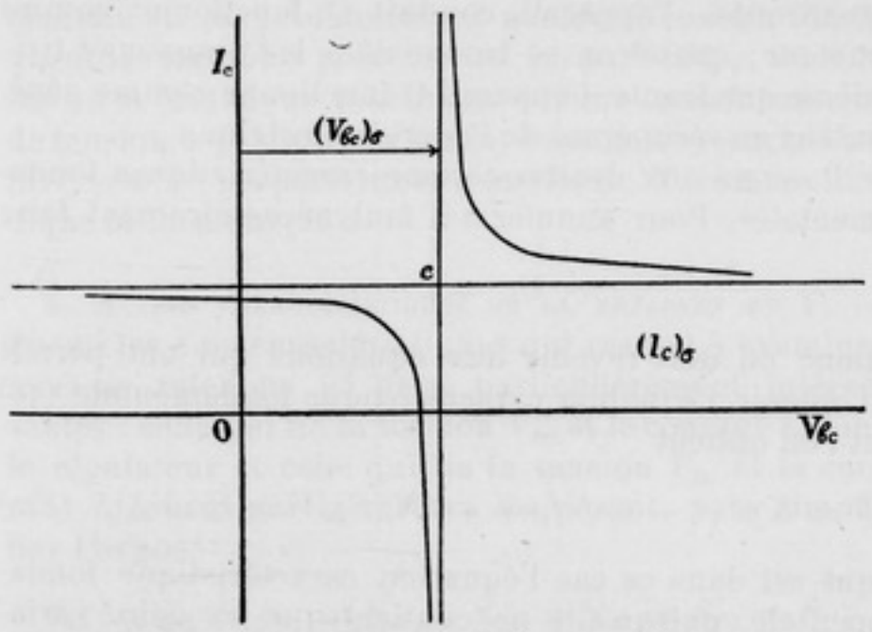


Fig. 37. — Représentation graphique de la fonction I_c de V_{bc} définie par la relation (40).

asymptotes sont parallèles aux axes, dont le centre C a pour coordonnées

$$\left.\begin{aligned}
(V_{bc})_\sigma &= -V\frac{\beta}{\alpha}, \\
(I_c)_\sigma &= -V\frac{\gamma}{\alpha},
\end{aligned}\right\} \qquad (42)$$

et dont la puissance p, c'est-à-dire le produit constant, est

$$p = [V_{bc} - (V_{bc})_\sigma] \times [I_c - (I_c)_\sigma]$$

ou

$$p = (V_{bc})_\sigma \times (I_c)_\sigma - V^2\frac{\delta}{\alpha}. \qquad (43)$$

Si l'on a $\alpha = 0$; $\beta \neq 0$ et $\gamma \neq 0$, l'équation (40) devient celle d'une droite inclinée comme l'indique la figure 38 et dont l'équation est

$$\gamma V_{bc} + \beta I_c + V\delta = 0. \qquad (44)$$

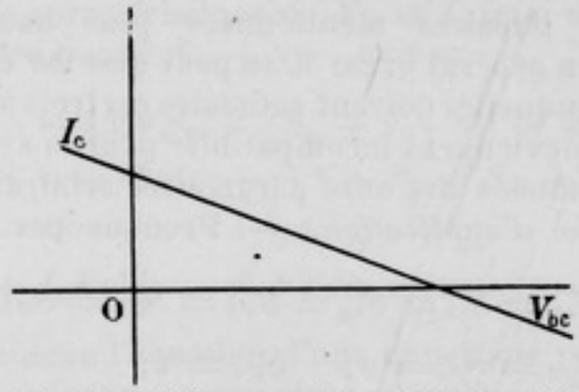


Fig. 38. — Représentation graphique de la fonction I_c de V_{bc} définie par l'équation (40) dans le cas où $\alpha = 0$, β et γ étant différents de zéro.

Si l'on a $\alpha = 0$; $\gamma = 0$, on a une droite parallèle à l'axe des abscisses dont l'équation est

$$I_c = -V\frac{\delta}{\beta}, \qquad (45)$$

et la métadyne transforme alors une tension constante en un courant constant.

Si l'on a $\alpha \neq 0$, $\beta = 0$, on a une droite parallèle à l'axe des ordonnées dont l'équation est

$$V_{bc} = -V\frac{\delta}{\gamma}, \qquad (46)$$

et la métadyne transforme alors une tension constante en une autre tension constante.

Enfin, si l'on a $\alpha \neq 0$ et $p = 0$, l'on obtient une paire de droites parallèles aux axes et normales entre elles, dont l'équation est

$$(\alpha V_{bc} + \beta V)(\alpha I_c + \gamma V) = 0, \qquad (47)$$

et la métadyne transforme alors une tension constante, tantôt en courant constant, tantôt en une autre tension constante.

Les constantes $S_{\lambda 1}$, $S_{\lambda 2}$..., $S_{\lambda 7}$, S_{c1},...$S_{c'7}$, figurent dans les équations comme des paramètres; en modifiant leurs valeurs respectives, on modifie la caractéristique fondamentale. Pour placer le centre C de l'hyperbole de la figure 37 en un point quelconque du plan des coordonnées et pour donner à la puissance p de l'hyperbole une valeur voulue quelconque, il suffit que ces paramètres satisfassent à trois équations linéaires;

c'est encore à trois équations linéaires que doivent satisfaire ces paramètres pour que la droite ou la paire de droites soient situées sur le plan des coordonnées. Par exemple, pour avoir le cas du courant I_c constant à la valeur I_{c0} il suffit que l'on ait

$$\alpha = 0, \quad \gamma = 0, \quad -V\frac{\delta}{\beta} = (I_c)_0.$$

Or nous disposons de quatorze paramètres. En général, nous pourrons donc donner des valeurs arbitraires à onze d'entre eux et, en particulier, les annuler et déterminer ensuite les trois autres d'après les trois équations linéaires mentionnées plus haut. Nous disons « en général », car il se peut que les équations linéaires auquelles doivent satisfaire ces trois autres paramètres deviennent incompatibles pour le système de valeurs données aux onze paramètres arbitraires.

Exemple d'application. — Prenons par exemple

$$S_{A1} = S_{A2} = S_{A3} = S_{A6} = S_{C'1} = S_{C'2} = S_{C'3} = S_{C'4} = S_{C'5} = S_{C'6} = 0; \quad S_{C'7} = 1;$$

il reste les paramètres suivants : S_{A4}, S_{A5}, S_{A7}. Supposons d'abord

$$g\Lambda N(S_{A7} + (\nu - 1)S_{C7}) \neq 0,$$

soit ici

$$S_{A7} + (\nu - 1) \neq 0;$$

nous avons alors l'équation (40) et ses conséquences. L'équation (40) se simplifie et nous avons pour les coordonnées du centre de l'hyperbole les valeurs

$$(V_{bc})_\sigma = -V\frac{S_{A7}}{S_{A7} + \nu - 1}, \tag{48}$$

$$(I_c)_\sigma = +V\left[\frac{1}{KNg^2(\nu-1)} + \frac{\Lambda S_{A5}}{Kg(S_{A7}+\nu-1)}\right], \tag{49}$$

et pour la puissance p de cette hyperbole

$$p = (V_{bc})_\sigma (I_c)_\sigma + V^2 \frac{S_{A7} + (\nu - 1)g\Lambda N S_{A4}}{(S_{A7} + \nu - 1)g^2 KN(\nu - 1)} \tag{50}$$

et l'on voit de suite que les trois paramètres restés libres suffisent toujours pour obtenir n'importe quelle hyperbole à asymptotes parallèles aux axes. En effet, l'abscisse $(V_{bc})_\sigma$ détermine S_{A7} et l'ordonnée $(I_c)_\sigma$ détermine ensuite S_{A5} et enfin la puissance p détermine S_{A4}.

Si la caractéristique fondamentale est une hyperbole de puisssance p faible, le fonctionnement de la métadyne est pratiquement celui d'un transformateur de tension constante à courant constant jusqu'à ce qu'une certaine tension V_σ soit atteinte; ensuite le fonctionnement devient celui d'un transformateur de tension constante, celle du réseau d'alimentation V, en une autre tension V_σ constante. Ce genre de fonctionnement est particulièrement précieux pour de nombreuses applications, entre autres en traction électrique.

Si l'on se limite à une branche de l'hyperbole et au premier quadrant du plan des coordonnées, celui où V_{bc} et I_c sont tous les deux positifs (fig. 39) on obtient

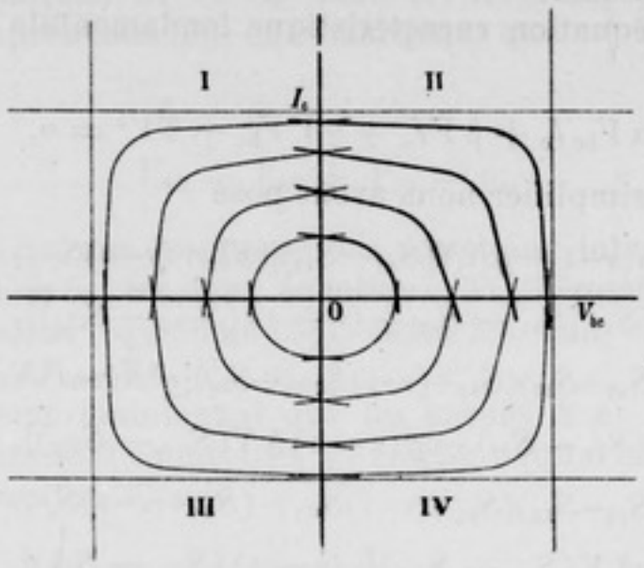


Fig. 39. — Famille d'hyperboles équilatères définies par le paramètre S_{A5}, et ayant mêmes asymptotes symétriques dans chacun des quatre quadrants.

toute une famille d'hyperboles en modifiant le paramètre S_{A5} seulement, c'est-à-dire en maintenant fixes les deux asymptotes

$$V_a = (V_{bc})_\sigma; \quad I_c = (I_c)_\sigma.$$

Pour obtenir des hyperboles symétriques dans les autres quadrants comme l'indique la figure 39, il est nécessaire de modifier les paramètres S_{A7} et S_{A5}. Quand on se trouve dans les deuxième et quatrième quadrants, l'appareil conduit Q fonctionne comme moteur; quand on se trouve dans les premier et troisième quadrants, l'appareil Q fonctionne comme générateur en récupérant de l'énergie électrique.

Passons aux droites comme caractéristiques fondamentales. Pour annuler α il faut nécessairement faire

$$S_{A7} = 1 - \nu. \tag{51}$$

Donc on doit revenir aux équations qui ont permis d'obtenir l'équation caractéristique fondamentale (40) et l'on obtient

$$V = Kg^2(\nu - 1)NI_c + g\Lambda N(S_{A4}V + S_{A5}V_{bc}), \tag{52}$$

qui est dans ce cas l'équation caractéristique fondamentale, puisqu'elle ne contient que les deux variables I_c et V_{bc}. Si le paramètre S_{A5} est différent de zéro, on a des droites inclinées et l'on a une famille de ces droites parallèles entre elles en modifiant seulement le paramètre S_{A4}.

Si $S_{A5} = 0$, on a le fonctionnement d'une machine transformant une tension constante V en un courant constant

$$I_c = V\frac{1 - g\Lambda N S_{A4}}{Kg^2(\nu - 1)N}, \tag{53}$$

ou inversement.

On fait varier la valeur de I_c en faisant varier le paramètre S_{A4}.

On ne peut avec la condition (51) fonctionner sous tension V_{bc} constante et nous nous trouvons donc devant un des cas particuliers mentionnés à la fin du paragraphe précédent.

Revenons au cas où

$$S_{A7} + \nu - 1 \neq 0$$

et déterminons le paramètre S_{A4} de façon que $p = 0$; on aura le système des deux droites

$$\left[V_{bc} + V\frac{S_{A7}}{S_{A7}+\nu-1}\right]\left[I_c - V\left(\frac{1}{KNg^2(\nu-1)} + \frac{\Lambda S_{A5}}{Kg(S_{A7}+\nu-1)}\right)\right] = 0. \quad (54)$$

Si alors on fait en sorte, avec le paramètre S_{A5} que la droite définie par l'équation

$$I_c - V\left(\frac{1}{KNg^2(\nu-1)} + \frac{\Lambda S_{A5}}{Kg(S_{A7}+\nu-1)}\right) = 0$$

corresponde à des valeurs de I_c éloignées de celle que prendra pratiquement le courant I_c, on aura un fonctionnement de machine transformant une tension constante V en une autre tension constante, à savoir

$$V_{bc} = -V\frac{S_{A7}}{S_{A7}+(\nu-1)},$$

ou inversement.

4. Cas ou la vitesse n'est pas constante. — Si la vitesse N n'est pas constante, la caractéristique fondamentale en est profondément modifiée, comme l'indiquent les formules précédentes; en particulier, dans le cas où la métadyne fonctionne comme transformateur de tension constante en courant constant, ce courant est inversement proportionnel à la vitesse N, comme l'indique la formule (53).

5. Autres caractéristiques de la métadyne en Y. — Parmi les cinq caractéristiques qui restent à examiner nous en retenons ici deux particulièrement intéressantes : celle qui lie la tension V_{bc} et le courant I_2 dans le régulateur et celle qui lie la tension V_{bc} et le courant I_a fourni par le réseau. En posant, pour simplifier l'exposé

$$S_{A1} = S_{A2} = S_{A3} = S_{A6} = S_{C'1} = S_{C'2} = S_{C'3} = S_{C'4} = S_{C'5} = S_{C'6} = 0; \quad S_{C'7} = 1,$$

et en laissant aux autres paramètres S_{A4}, S_{A5}, S_{A7}, la liberté d'être choisis arbitrairement pour situer la caractéristique fondamentale comme on l'entend, on a pour la caractéristique de V_{bc} et I_a, en général, c'est-à-dire quand $S_{A7} + \nu - 1 \neq 0$,

$$V_{bc}^2 S_{A5} + V_{bc} I_2 (S_{A7} + \nu - 1) + V_{bc} V (S_{A4} + S_{A5}) + I_2 V S_{A7} + V^2 S_{A4} = 0, \quad (55)$$

et l'on a alors une hyperbole dont une des asymptotes est inclinée; l'autre, normale à l'axe des V_{bc}, le rencontre à la même abscisse que celle des asymptotes de l'hyperbole de la caractéristique fondamentale correspondante qui est normale à l'axe des V_{bc}.

Si $S_{A7} + \nu - 1 = 0$ et $S_{A5} \neq 0$, on a une parabole et la caractéristique fondamentale correspondante est une droite inclinée, comme nous l'avons vu.

Si enfin on a simultanément $S_{A7} + \nu - 1 = 0$ et $S_{A5} = 0$, on obtient une droite tandis que la métadyne fonctionne alors comme un transformateur de tension constante en un courant constant, ainsi que nous l'avons vu.

Pour la caractéristique de V_{bc} et I_a on a en général, c'est-à-dire quand $S_{A7} + \nu - 1 \neq 0$

$$V_{bc}^2[(1-\nu)g\Lambda N S_{A5} - (S_{A7}+\nu-1)] + V_{bc} I_a (S_{A7}+\nu-1) Kg^2(\nu-1)N + V_{bc}[V S_{A7} + g\Lambda N S_{A4} S_{A7} - (S_{A7}+\nu-1) g\Lambda N S_{A4} V] + I_a Kg^2(\nu-1) N V S_{A7} = 0, \quad (56)$$

qui est encore l'équation d'une hyperbole passant par l'origine et dont une asymptote est inclinée, l'autre étant normale à l'axe des V_{bc} et coupant cet axe au même point que l'asymptote de la caractéristique fondamentale normale à l'axe des V_{bc}, comme il était à prévoir.

Si $S_{A7} + \nu - 1 = 0$ et $S_{A5} \neq 0$, on a une parabole, et enfin si l'on a simultanément $S_{A7} + \nu - 1 = 0$ et $S_{A5} = 0$, on a une droite. Comme toujours la caractéristique en question passe par l'origine; on ne saurait donc avoir le fonctionnement à courant I_a constant que pour la valeur $I_a = 0$.

6. Etablissement des diagrammes vectoriels. — Nous obtenons une image de la répartition des tensions, très commode à employer surtout quand il y a un grand nombre de tensions à considérer, en construisant un diagramme des vecteurs dont seules les projections sur

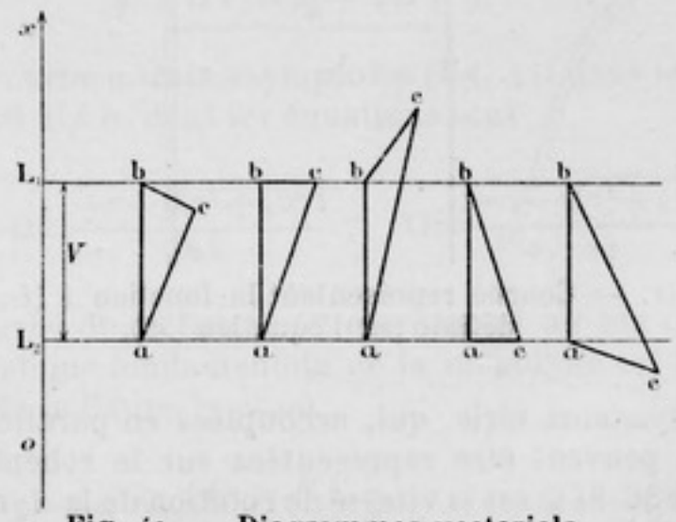


Fig. 40. — Diagrammes vectoriels des tensions de la métadyne montée en Y.

un axe bien défini, soit l'axe Ox, sont à considérer, tandis que les projections sur tout autre axe restent arbitraires. Les extrémités de ces vecteurs correspondent aux points dont on désire représenter le potentiel. Sur la figure 40 il y a 5 diagrammes vectoriels pour le

montage de la métadyne en Y. La verticale Ox est l'axe des projections à considérer. La tension de la ligne L_1 du réseau est représentée par le point L_1 et celle de la ligne L_2, par le point L_2. Le premier triangle à gauche correspond au cas où le balai c se trouve à un potentiel intermédiaire entre ceux des deux lignes du réseau. Dans le deuxième triangle, $V_{bc} = o$; le troisième triangle représente le cas où la métadyne crée une tension V_{ac} supérieure à celle V du réseau; le quatrième triangle correspond au cas où $V_{ac} = o$ et enfin le cinquième triangle, à celui où $V_{bc} < -V$. Les courants aux balais sont évidemment susceptibles d'une représentation analogue.

7. Caractéristiques de la métadyne en Y associée avec des appareils conduits bien définis. — Associons à la métadyne un appareil conduit, arbitrairement choisi, et déterminons les caractéristiques du fonctionnement, non plus de la métadyne toute seule, mais de l'ensemble.

Pour fixer les idées nous prendrons l'exemple d'une locomotive dont tous les moteurs de traction sont

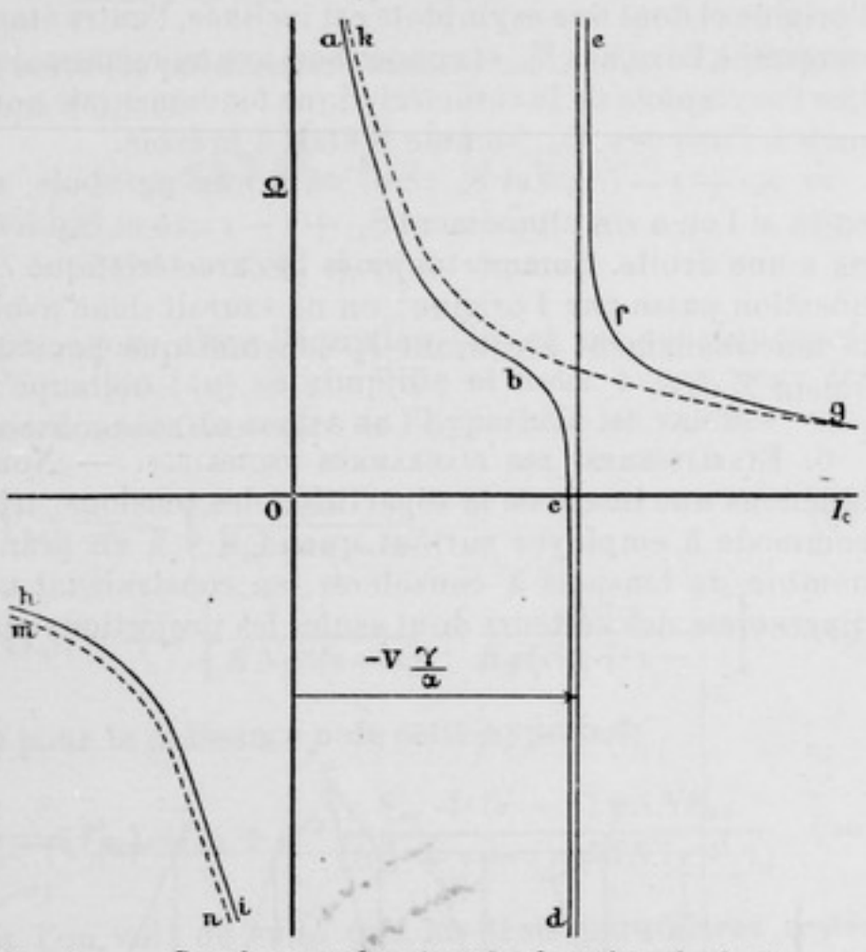


Fig. 41. — Courbe représentant la fonction $f(I_c, \Omega) = o$, définie par l'équation (58).

des dynamos série, qui, accouplées en parallèle entre elles, peuvent être représentées sur le schéma de la figure 36. Si Ω est la vitesse de rotation de la dynamo Q, et si l'on suppose la machine non saturée et la chute de tension due à la résistance négligeable, on a

$$V_{bc} = A I_c \Omega, \qquad (57)$$

où A est une constante de construction de la dynamo Q.

Considérons le cas où la caractéristique fondamentale de la métadyne est une hyperbole ($\alpha \neq o$) et éliminons V_{bc} entre les équations (40) et (57); nous avons

$$I_c^2 \Omega A \alpha + I_c \Omega A V \gamma + I_c V \beta + V^2 \delta = o, \qquad (58)$$

soit une équation du troisième degré, représentée par une courbe (fig. 41) qui a trois asymptotes parallèles aux axes de coordonnées (soit I_c pour les abscisses et Ω pour les ordonnées) et dont les équations sont respectivement

$$\Omega = o; \quad I_c = o; \quad I_c = -V\frac{\gamma}{\alpha}.$$

La courbe de la figure 41 a été tracée pour la métadyne dont la caractéristique fondamentale est représentée sur la figure 42.

Sur la figure 41 est également tracée, en trait ponctué, l'hyperbole équilatère donnée par l'équation

$$A I_c \Omega = -V\frac{\beta}{\alpha},$$

qui n'est autre chose que la caractéristique d'un moteur

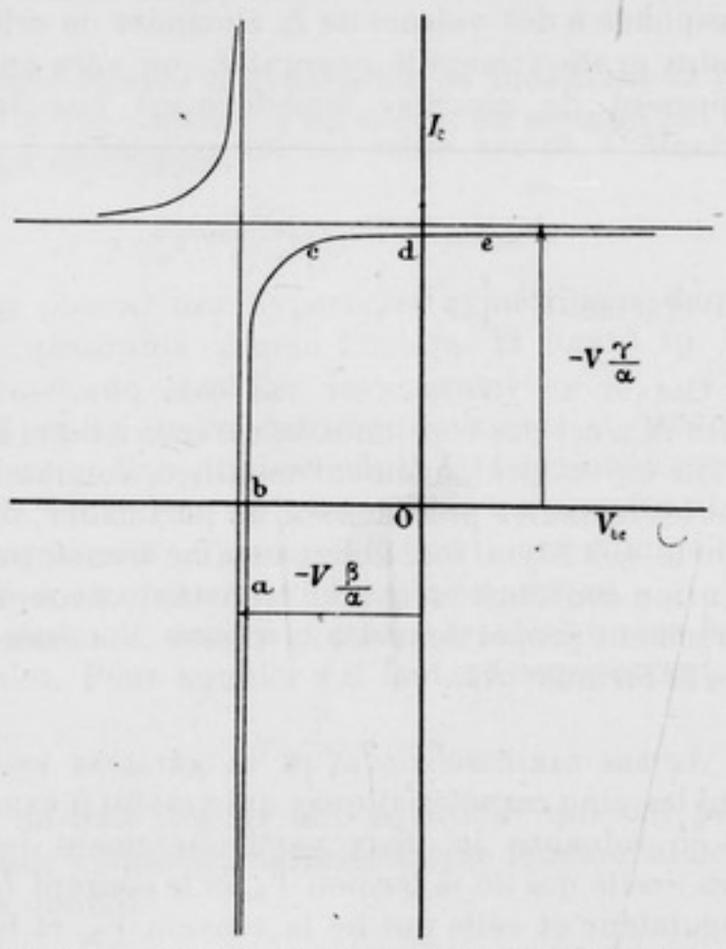


Fig. 42. — Courbe caractéristique fondamentale d'une métadyne dans des conditions bien définies.

de traction sous une tension de service constante de ligne.

8. Exemple d'application. Introduction de la modulatrice. — Considérons maintenant un autre exemple où la modulatrice joue un rôle. Supposons toujours une locomotive dont tous les moteurs de traction à excitation indépendante sont connectés en parallèle et alimentés par le courant I_c sous la tension V_{bc}. En traction la sécurité du fonctionnement est un facteur essentiel; or, avec l'équipement rhéostatique ordi-

naire, le moteur série donne toute garantie, à ce point de vue ; car, si l'excitation vient à manquer, c'est le plus souvent parce que le circuit d'excitation est interrompu ; mais alors tout danger est écarté, car le circuit d'induit est interrompu en même temps. Si les moteurs de traction sont alimentés par une métadyne et si leur excitation est indépendante, l'accident dû à une rupture du circuit d'excitation et qui est à craindre dans le cas ordinaire, n'a aucune suite grave, car quelle que soit la caractéristique fondamentale de la métadyne, la tension V_{bc} s'abaisse à zéro, et le courant I_c se réduit à la valeur qu'il a au démarrage, tandis que le courant demandé au réseau I_a se réduit à zéro ; en effet, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, toutes les caractéristiques qui lient I_a et V_{bc} passent par l'origine.

Nous supposerons dans cet exemple pratique le fer non saturé et la chute de tension due à la résistance négligeable, soit

$$V_{bc} = -\Omega (B V_{bc} + C), \qquad (59)$$

où C et B sont des constantes positives de construction ; les ampères-tours d'excitation sont donc composés d'une partie fixe et d'une autre partie variable avec la tension appliquée. Au lieu d'exciter directement les moteurs de traction avec deux modèles de bobines à fil fin nécessairement, ce qui serait très désavantageux, on emploiera la modulatrice qui « combinera linéairement » les deux forces magnétomotrices et les « traduira » en même temps en un seul courant assez intense pour que les bobines inductrices des moteurs aient les dimensions avantageuses de celles des moteurs série de construction courante.

Eliminons V_{bc} entre les équations (4o) et (59) et nous aurons pour $\alpha \neq 0$

$$-I_c\Omega(\alpha C - \beta V B) + I_c \beta V + \Omega(\delta B V^2 - \gamma V C) + \delta V^2 = 0, \quad (60)$$

c'est-à dire une hyperbole, dans le cas général où

$$\alpha C - \beta V B \neq 0$$

et une droite, en particulier, si

$$\alpha C - \beta V B = 0.$$

La figure 43 représente l'hyperbole du cas général et elle a été tracée pour le cas où la caractéristique fondamentale de la métadyne est l'hyperbole de la figure 37. Les deux asymptotes ont pour équations

$$I_c = \frac{\delta V^2 B - \gamma V C}{\alpha C - \beta V B},$$

$$\Omega = \frac{\beta V}{\alpha C - \beta B V}.$$

Si l'on se limite à la branche abcd de l'hyperbole, on voit qu'il y a une vitesse supérieure limite de la locomotive au delà de laquelle le couple devient résistant et croît rapidement, comme pour les locomotives à courant triphasé quand le synchronisme est dépassé. Si l'on désigne par Z une quantité proportionnelle au couple et si l'on pose

$$Z = I_c (G + H V_{bc}), \qquad (61)$$

où G et H sont des constantes, et si l'on élimine I_c et V_{bc}

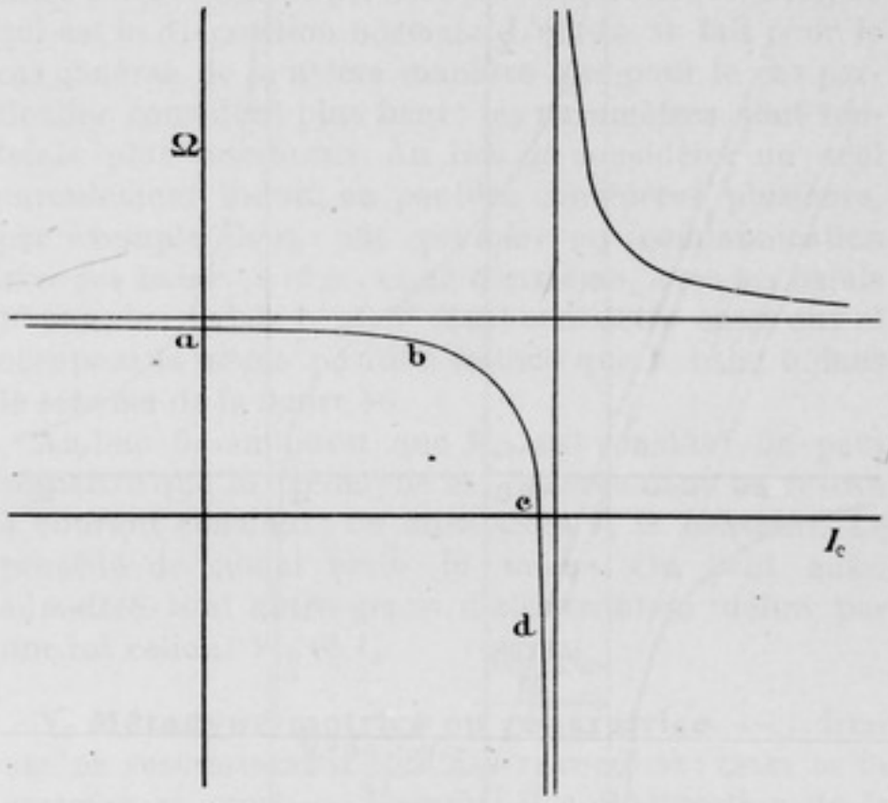


Fig. 43. — Hyperbole représentant la variation de Ω en fonction de I_c, suivant l'équation (6o).

entre cette dernière équation et les équations (4o) et (59) on obtient l'équation suivante

$$\Omega^2 Z\theta + \Omega Z\tau + \Omega\varphi - Z\beta V + CV^2\delta = 0, \quad (62)$$

où

$$\theta = H(\alpha G - \beta V H); \quad \tau = \alpha G - 2\beta V H;$$
$$\varphi = G(\gamma G V - \delta H V^2).$$

Cette courbe a trois asymptotes (fig. 44) dans le cas général où $\theta \neq 0$, dont les équations sont

$$Z = 0; \quad \Omega = \frac{-\tau + \sqrt{\tau^2 + 4\theta\beta V}}{2\theta}; \quad \Omega = \frac{-\tau - \sqrt{\tau^2 + 4\theta\beta V}}{2\theta}.$$

La courbe de la figure 44 correspond au cas où la caractéristique fondamentale de la métadyne est l'hyperbole de la figure 37 et où

$$C > B V \frac{\beta}{\alpha}.$$

Si l'on suit la branche abcde, l'on voit que le couple, très fort au démarrage, diminue avec la vitesse et s'annule pour une vitesse finie au delà de laquelle il devient négatif (1).

(1) Ceci suppose que la régulatrice remplit toujours son but.

Si $\theta = o$, on a une hyperbole dont les deux asymptotes sont parallèles aux axes.

Si $\alpha = o$, c'est-à-dire si la caractéristique fondamentale de la métadyne est une droite, la caractéristique

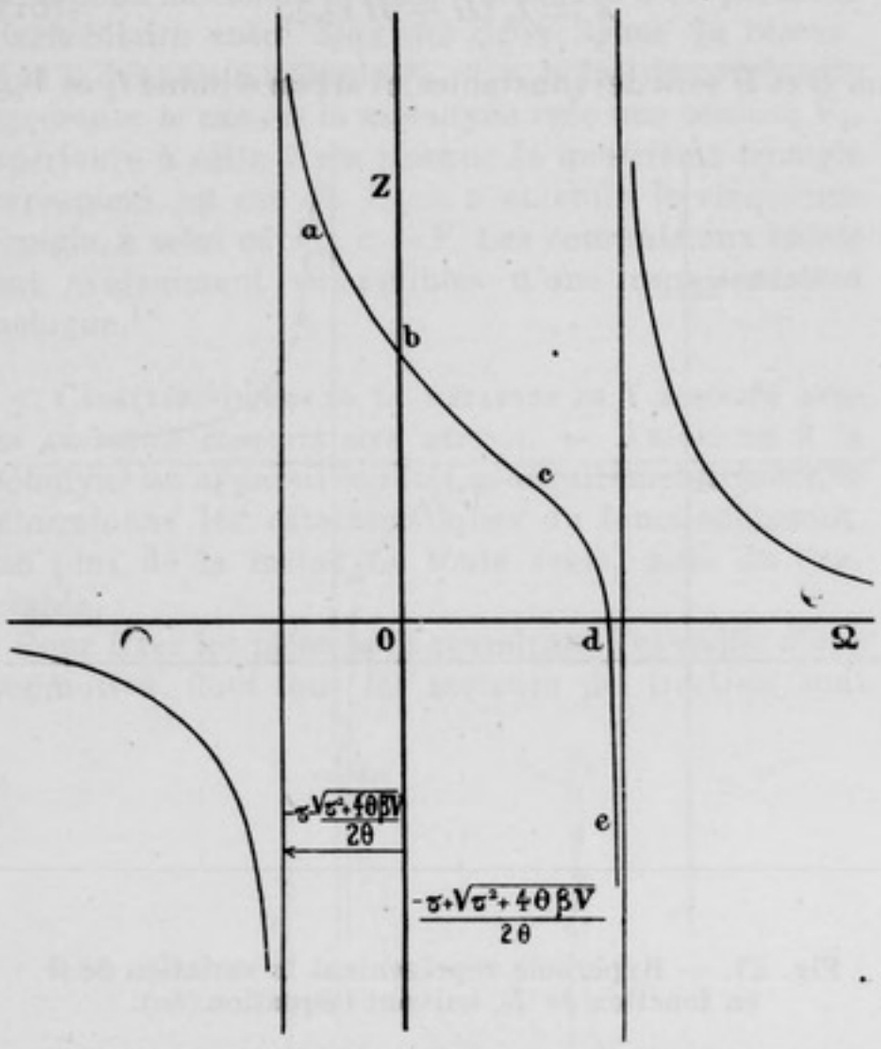


Fig. 44. — Hyperbole représentant la variation de Z en fonction de Ω, suivant l'équation (62).

qui lie la vitesse Ω et la quantité Z proportionnelle au couple est encore du troisième degré, soit

$$\beta H^2 Z\Omega^2 + 2\beta H\Omega Z + \beta Z + \Omega(GHV\delta - \gamma G^2) + GV\delta = o; \quad (63)$$

mais elle a deux asymptotes distinctes d'équations

$$Z = o \quad \text{et} \quad \Omega = \frac{-1}{B}$$

(cette dernière est double). Si en particulier I_c est constant, alors la caractéristique définie par l'équation (63) dégénère en une hyperbole aux asymptotes parallèles aux axes et en la droite $\Omega = \frac{-1}{B}$, car alors on a simultanément

$$\alpha = o \quad \text{et} \quad \gamma = o.$$

Supposons que l'appareil conduit soit une résistance r (d'ailleurs on peut toujours l'assimiler à une résistance quelle que soit sa nature, si l'on ne considère que le régime stationnaire); elle aura pour valeur $r = \frac{-V_{bc}}{I_c}$; supposons que le point de fonctionnement de la métadyne glisse sur la branche a b c d e de l'hyperbole de la figure 42, la valeur de r part de zéro pour le point d, prend toute valeur positive quand on glisse sur d c b et devient infinie pour le point b. En d'autres termes, le fonctionnement de la régulatrice étant assuré, on pourra passer du court-circuit franc à la rupture du circuit où est branché l'appareil conduit sans aucun trouble ni pour la métadyne ni pour la ligne ; cela constitue une propriété très précieuse en pratique.

9. Huitième mode de réalisation relatif a la commutation en cas de coïncidence des axes avec des courants différents. — Nous avons considéré jusqu'ici une forme particulière du montage en Y de la métadyne avec enroulement induit à tambour et à pas diamétral, à savoir la forme pour laquelle les axes de commutation Oa et Ob', d'une part, et les axes de commutation Oa' et Ob, d'autre part, coïncident; dans ces conditions, il y a seulement quatre segments polaires statoriques par cycle. Dans le cas général, on a six segments polaires statoriques ; donc la forme particulière étudiée plus haut est plus simple, mais les plages de commutation des courants I_a et I_b se superposent, ces courants pouvant être très différents l'un de l'autre, et alors il est pratiquement impossible de répartir l'action d'un flux unique émis par le pôle de commutation entre les sections logées dans la même encoche et commutant des courants différents.

Le *huitième mode de réalisation* est le suivant : Quand les axes de commutation correspondant à deux balais à courants différents coïncident, on peut faire agir sur chacun des deux courants commutants des pôles de commutation appropriés exclusivement au courant commuté correspondant, en faisant cesser cette coïncidence des axes de commutation, soit en décalant suffisamment les balais, soit en modifiant le pas du bobinage de manière à séparer nettement les plages de commutation qui correspondent à un des

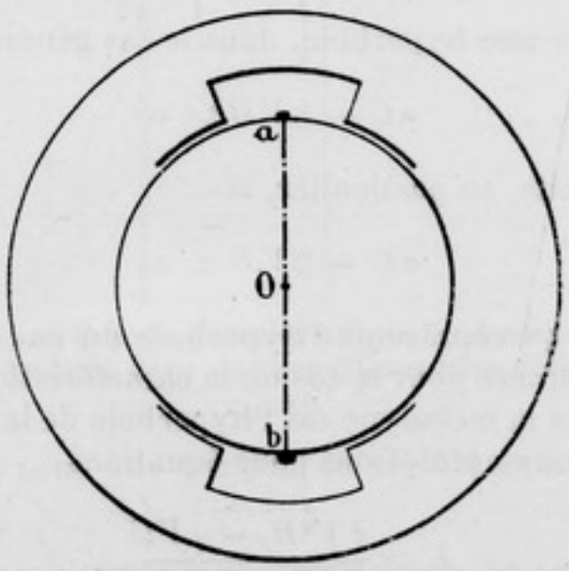


Fig. 45. — Schéma d'un enroulement en tambour à pas diamétral, avec deux balais diamétralement opposés.

courants commutés de celles qui correspondent à l'autre des courants commutés.

Prenons, par exemple, un enroulement en tambour à pas diamétral et deux balais diamétralement opposés

a et b, comme il est indiqué sur la figure 45. Les deux axes de commutation du balai a sont Oa et Ob et ceux du balai b sont Ob et Oa; ils coïncident donc deux à deux et, si les courants I_a et I_b qui entrent dans les balais a et b sont différents, il est pratiquement impossible d'assurer la bonne commutation par un seul jeu de pôles de commutation. Conformément au huitième procédé, on pourra soit décaler les balais comme l'indique la figure 46 et laisser invariable le pas de l'enroulement, soit laisser les balais à leur position respective, c'est-à-dire diamétralement opposés, et modifier le pas de l'enroulement comme l'indique la figure 47. Dans les deux cas, au balai a correspondent deux axes de commutation Oa et Oa' distincts des deux axes de commutation Ob et Ob' du balai b et l'écartement est assez grand pour que les plages de commutation correspondantes soient nettement séparées; l'on pourra alors employer deux jeux de pôles de commutation distincts, un premier jeu donnant naissance à un flux proportionnel au courant I_a, et un deuxième, produisant un flux proportionnel au courant I_b, ceci sans augmenter le nombre de segments polaires.

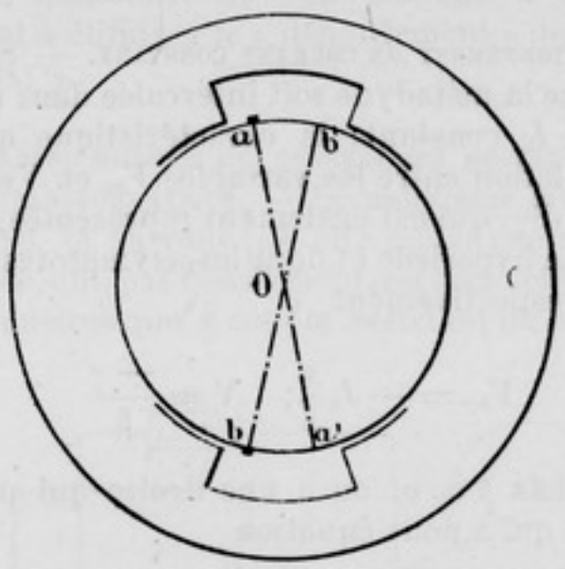


Fig. 46. — Schéma montrant le décalage des balais pour assurer la commutation dans le cas représenté schématiquement en figure 45.

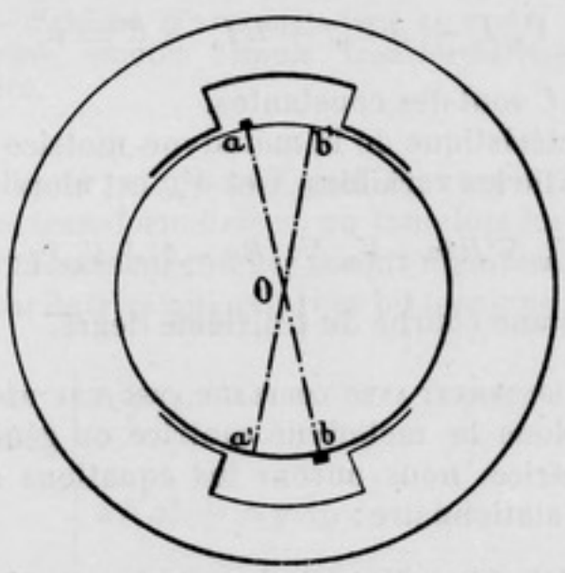


Fig. 47. — Schéma montrant la modification du pas pour assurer la commutation dans le cas représenté schématiquement en figure 45.

Bien entendu, on pourra employer simultanément les deux moyens, le décalage des balais et la modification du pas d'enroulement.

10. Généralisation. — Le cas général du montage de la métadyne en Y et à enroulement en tambour comporte six segments polaires statoriques principaux et six pôles de commutation, un pôle de commutation entre deux segments polaires principaux consécutifs, ce qui est la disposition normale. L'étude se fait pour le cas général de la même manière que pour le cas particulier considéré plus haut; les paramètres sont toutefois plus nombreux. Au lieu de considérer un seul enroulement induit, on peut en considérer plusieurs, par exemple deux: un premier en communication avec les balais a et b', et un deuxième, avec les balais b" et a, les balais b' et b" étant connectés entre eux et occupant la même position radiale que le balai b dans le schéma de la figure 36.

Au lieu de supposer que V_{ab} est constant, on peut admettre que la métadyne est insérée dans un réseau à courant constant; on aura alors I_a = constant. Le procédé de calcul reste le même. On peut aussi admettre tout autre genre d'alimentation défini par une loi reliant V_{ab} et I_a.

V. **Métadyne motrice ou génératrice.** — 1. Examen de fonctionnement d'un cas particulier: celui de la métadyne en croix. — Jusqu'ici il a été question de la métadyne transformatrice d'énergie électrique en énergie électrique de nature différente; nous nous proposons de traiter maintenant de la métadyne motrice ou génératrice, c'est-à-dire de la métadyne transformant l'énergie électrique en énergie mécanique ou inversement. Une grande partie de ce qui a été dit pour la métadyne transformatrice s'applique aussi à la métadyne motrice ou génératrice, et nous ne ferons ici que relever quelques particularités.

Si on accouple à une métadyne ayant un des montages particuliers aux métadynes transformatrices une machine motrice ou résistante quelconque, la métadyne fonctionnera, en général, en partie comme transformateur et en partie comme génératrice ou moteur. Mais, parmi les montages possibles d'une métadyne, il y en a qui ne peuvent convenir qu'à une métadyne motrice ou génératrice, tels sont par exemple les montages des figures 11, 24, 25.

Nous nous limiterons ici à l'examen d'un seul montage, celui de la figure 24 que le schéma dérivé de la figure 48 reproduit, sous une forme particulière; pour tout autre montage les calculs et les résultats sont analogues.

A la métadyne proprement dite on peut accoupler la régulatrice et la modulatrice; nous commençons par examiner la métadyne proprement dite supposée toute seule, mais accouplée bien entendu à une machine résistante ou motrice quelconque.

Conservons toujours les mêmes symboles et posons

$$g = \text{arc ab} = \text{arc bc} = \text{arc cd} = \text{arc da}$$

et

$$S_A + S_C \equiv 0; \quad S_B + S_D \equiv 0.$$

Les équations du régime stationnaire sont les suivantes :

$$\left.\begin{aligned} V_{ac} &= -2NKg^2 I_b + N\Lambda g\,(S_A + S_B), \\ 0 &= 2NKg^2 I_a - N\Lambda g\,(S_A - S_B). \end{aligned}\right\} \quad (64)$$

Posons

$$S_A = S_{A1} I_a + S_{A2} I_b + S_{A3} V_{ac},$$
$$S_B = S_{B1} I_a + S_{B2} I_b + S_{B3} V_{ac},$$

et écrivons pour simplifier

$$S_{\alpha h} = S_{Ah} + S_{Bh}, \quad S_{\beta h} = S_{Bh} - S_{Ah},$$

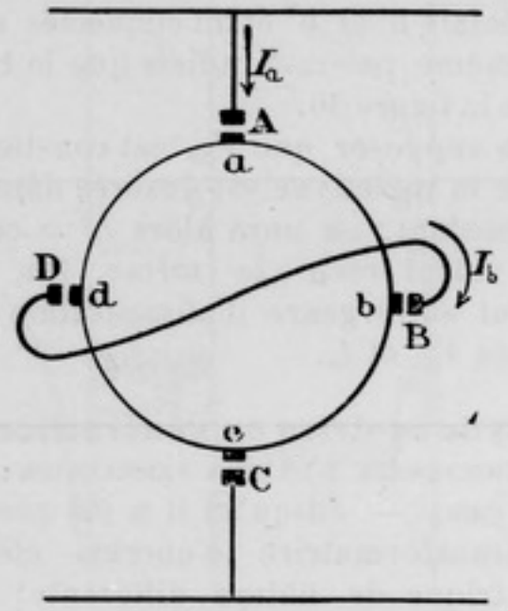


Fig. 48. — Schéma d'un cas particulier de la métadyne motrice ou génératrice.

où $h = 1, 2, 3$ et nous pourrons mettre les équations (64) sous la forme

$$\left.\begin{aligned} V_{ac} &= -2NKg^2 I_b + N\Lambda g(S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_b + S_{\alpha 3} V_{ac}), \\ 0 &= 2NKg^2 I_a + N\Lambda g(S_{\beta 1} I_a + S_{\beta 2} I_b + S_{\beta 3} V_{ac}), \end{aligned}\right\} \quad (65)$$

auxquelles il faut ajouter

$$V_{ac} I_a - CN = 0, \quad (66)$$

où C est le couple résistant de la machine accouplée, multiplié par une constante facile à déterminer.

2. Fonctionnement sous tension constante. — Supposons d'abord que la métadyne soit connectée à un réseau à tension V_{ac} constante. Nous avons alors quatre variables I_a, I_b, N, C qui seront déterminées par les équations (65) et (66) quand une d'elles est donnée. La caractéristique qui lie I_a et N est la suivante

$$\alpha I_a N + \beta N V_{ac} + \gamma V_{ac} = 0, \quad (67)$$

où

$$\alpha = \Lambda^2 g^2 S_{\alpha 1} S_{\beta 2} + (2Kg^2 + \Lambda g S_{\beta 1})(2Kg^2 - \Lambda g S_{\alpha 2}),$$
$$\beta = \Lambda^2 g^2 S_{\alpha 1} S_{\beta 2} + (2Kg^2 - \Lambda g S_{\alpha 2})\Lambda g S_{\beta 3},$$
$$\gamma = -\Lambda g S_{\beta 2}.$$

Elle est représentée en général par une hyperbole dont les asymptotes sont parallèles aux axes et ont pour équations

$$I_a = -V_{ac}\frac{\beta}{\alpha}; \quad N = 0.$$

Si toutefois $\alpha = 0$, on a une droite

$$N = -\frac{\gamma}{\beta}.$$

3. Fonctionnement en courant constant. — Supposons ensuite que la métadyne soit intercalée dans un réseau à courant I_a constant; la caractéristique qui représente la relation entre les variables V_{ac} et N est encore l'équation (67) qui est également représentée, en général, par une hyperbole et dont les asymptotes ont pour équation respectivement

$$V_{ac} = -I_a\frac{\alpha}{\beta}; \quad N = \frac{-\gamma}{\beta}.$$

Si toutefois $\beta = 0$, on a une droite qui passe par l'origine et qui a pour équation

$$N = -V_{ac}\frac{\gamma}{\alpha} I_a.$$

4. Fonctionnement avec une métadyne a caractéristique fondamentale en hyperbole. — Supposons enfin que l'alimentation de la métadyne motrice ou génératrice soit assurée par une métadyne transformatrice dont la caractéristique fondamentale est une hyperbole de la forme

$$V_{ac} I_a + A V_{ac} + B I_a + C = 0, \quad (68)$$

où A, B et C sont des constantes.

La caractéristique de la métadyne motrice ou génératrice qui lie les variables N et V_{ac} est alors

$$V_{ac}^2 N\beta + V_{ac} N^2 B\beta\alpha + V_{ac} N\alpha(B\gamma - A) + V_{ac}^2\gamma - NC\alpha = 0,$$

équation d'une courbe du troisième degré.

5. Fonctionnement avec couplage avec une régulatrice. — Accouplons la métadyne motrice ou génératrice à une régulatrice, nous aurons les équations suivantes du régime stationnaire :

$$V_{ac} = -2NKg^2 I_b + N\Lambda g(S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_b + S_{\alpha 3} V_{ac} + S_{\alpha 4} I_\varphi),$$
$$0 = 2NKg^2 I_a + N\Lambda g(S_{\beta 1} I_a + S_{\beta 2} I_b + S_{\beta 3} V_{ac} + S_{\beta 4} I_\varphi),$$
$$V_{ac} I_a - CN = 0,$$
$$f(N, \ldots) = 0;$$

la dernière équation est celle qui exprime la loi imposée arbitrairement à la vitesse de la régulatrice, qui est aussi celle de la métadyne (1).

En ce qui concerne la stabilité et la « canalisation »

(1) Nous ne traitons pas ici de la « canalisation » et du « débordement » du courant qui sont des phénomènes du régime variable.

des courants des balais, la question se traite comme pour les métadynes transformatrices.

Si l'on considère soit une dynamo ordinaire, soit une dynamo accouplée à une régulatrice, on trouvera bien encore des caractéristiques analogues pour le régime stationnaire à condition de prévoir des enroulements statoriques convenables, mais avec moins de souplesse, car on a moins de paramètres disponibles.

La différence apparaît plus grande quand on aborde le régime transitoire et l'on cherche à assurer la stabilité et à éliminer le « débordement » des courants aux balais (1).

6. Métadyne motrice ou génératrice montée comme une métadyne transformatrice. — Le neuvième mode de réalisation est le suivant : A une métadyne motrice ou génératrice, qui, par conséquent, est accouplée avec une machine quelconque à couple résistant ou moteur, on

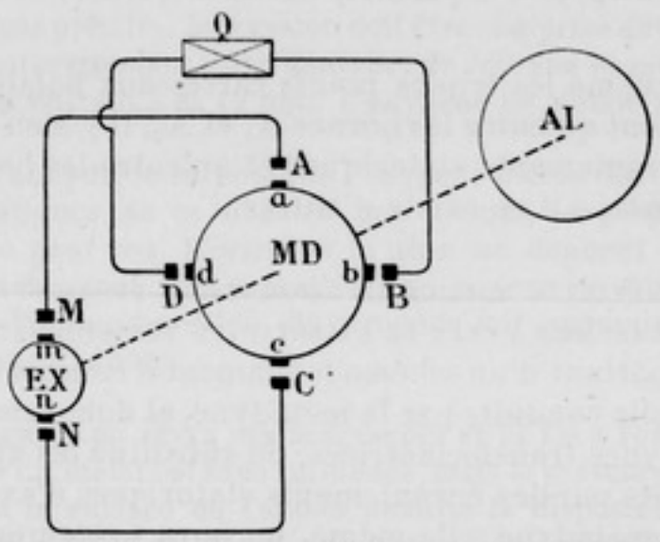


Fig. 49. — Schéma d'une métadyne en croix, motrice ou génératrice, montée comme transformatrice avec une excitatrice.

peut appliquer n'importe quel montage propre aux métadynes transformatrices, où toutefois les balais, qui étaient connectés au réseau, seront maintenant connectés à une excitatrice qui assurera les tensions qu'avait le réseau, mais qui débitera une faible puissance grâce à un choix convenable des enroulements statoriques de la métadyne.

La figure 49 schématise une application de ce procédé. Accouplés sur le même arbre se trouvent une machine AL quelconque à couple moteur ou résistant ; une métadyne MD avec le montage en croix, Q étant l'appareil conduit ; une excitatrice EX, qui est connectée aux bornes de la métadyne lesquelles auraient été connectées au réseau sous tension constante. Si nous reprenons les mêmes notations qu'auparavant, et que nous établissions les équations du régime stationnaire nous obtenons en posant

$$S_A + S_C \equiv 0; \quad S_B + S_D \equiv 0; \quad S_M + S_N \equiv 0,$$

$$V_{ac} = -2NKg^2 I_b + N\Lambda g\,(S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_b + S_{\alpha 3} V_{ac} + S_{\alpha 4} V_{bd}), \tag{69}$$

$$V_{bd} = 2NKg^2 I_a + N\Lambda g\,(S_{\beta 1} I_a + S_{\beta 2} I_b + S_{\beta 3} V_{ac} + S_{\beta 4} V_{bd}), \tag{70}$$

$$V_{mn} = V_{ac} = 2NH\,(S_{M1} I_a + S_{M2} I_b + S_{M3} V_{ac} + S_{M4} V_{bd} + S_{M5} W). \tag{71}$$

$$I_a\,(V_{ac} - V_{mn}) + I_b V_{bd} - CN = 0, \tag{72}$$

où C est le couple résistant de la machine AL, à une constante près facilement calculable, H, une constante de construction de l'excitatrice EX, et W, la tension constante d'une source quelconque.

L'équation (72) se simplifie ainsi

$$I_b V_{bd} - CN = 0; \tag{73}$$

à ces équations il faut ajouter celle qui lie V_{bd} et I_b, due à l'appareil conduit Q, et celle qui permet de déterminer N d'après le fonctionnement de la machine AL. Des équations (69), (70) et (71) il est possible de déduire la caractéristique qui lie les variables V_{bd}, I_b et N en éliminant entre elles les variables V_{ac} et I_a. On obtient ainsi l'équation

$$\begin{vmatrix} \Lambda g S_{\alpha 1} & \Lambda g S_{\beta 3} - \frac{1}{N} & I_b\,(\Lambda g S_{\alpha 2} - 2Kg^2) + V_{bd}\Lambda g S_{\alpha 4} \\ 2Kg^2 + \Lambda g S_{\beta 1} & \Lambda S_{\beta 3} & I_b \Lambda g S_{\beta 2} + V_{bd}\left(\Lambda g S_{\beta 4} - \frac{1}{N}\right) \\ 2HS_{M1} & 2HS_{M3} - \frac{1}{N} & I_b 2HS_{M2} + V_{bd} 2HS_{M4} + 2HS_{M5} W \end{vmatrix} = 0, \tag{74}$$

qui est linéaire en I_b et V_{bd} et de la forme

$$\alpha I_b + \beta V_{bd} + \gamma = 0.$$

La caractéristique peut donc être représentée par une droite qui, en général, est inclinée comme l'indique la figure 50, mais qui devient parallèle à l'axe des V_{bd}, si $\beta = 0$ et α et γ, différents de zéro; en ce dernier cas, nous aurons obtenu une métadyne motrice ou génératrice fournissant un courant I_b constant.

L'équation caractéristique (74) est du deuxième degré par rapport à la vitesse N et elle permet d'étudier l'influence de cette vitesse sur la caractéristique qui lie I_b et V_{bd}. Supposons, par exemple, que l'on veuille avoir un courant constant I_b quelle que soit la vitesse N;

(1) Rappelons ici que si la métadyne A motrice ou génératrice est un appareil conduit par une autre métadyne B et s'il n'est pas en parallèle avec un autre appareil conduit, la question de la stabilité peut être réglée par les enroulements de la métadyne B même si la métadyne A prise toute seule (sous un réseau à tension constante, par exemple) ne satisfait pas aux conditions de stabilité.

on pourra réaliser cette condition en faisant disparaître dans l'équation (74) le terme V_{bd} et les termes en $\frac{1}{N}$; on

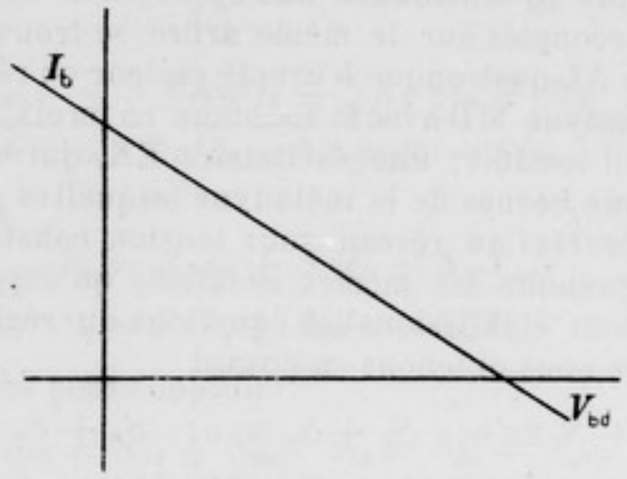


Fig. 50. — Droite représentant la fonction I_b de V_{bd}, $\alpha I_b + \beta V_{bd} + \gamma = 0$.

voit facilement dans le déterminant (74) que l'on peut réaliser ces conditions de plusieurs manières (1).

Les équations (69), (70) et (71) montrent encore comment il faut choisir les constantes statoriques de la

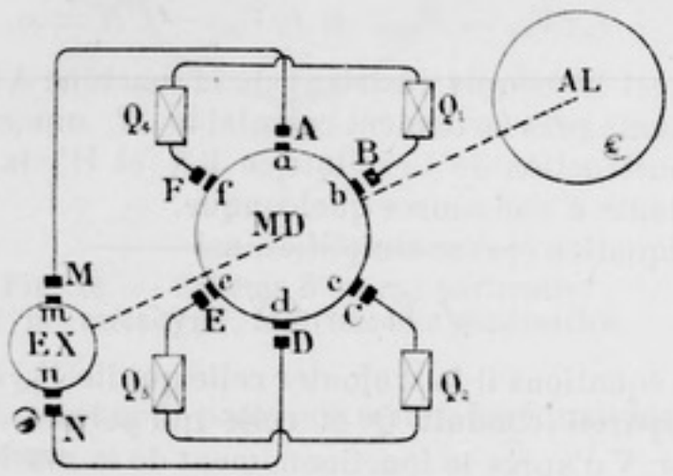


Fig. 51. — Schéma de la métadyne montée en croix de Lorraine.

métadyne pour réduire la puissance de l'excitatrice; en général, on prend S_{31} très élevé et on fait en sorte que $K g_2$ et $\Lambda g S_{31}$ aient le même signe.

Nous avons examiné un exemple particulier du neuvième procédé; on pourra suivre la même méthode pour tout autre exemple d'application.

Sur la figure 51 est représenté un schéma de la métadyne montée en croix de Lorraine, et sur la figure 52 un schéma de la métadyne montée en huit. Dans ce der-

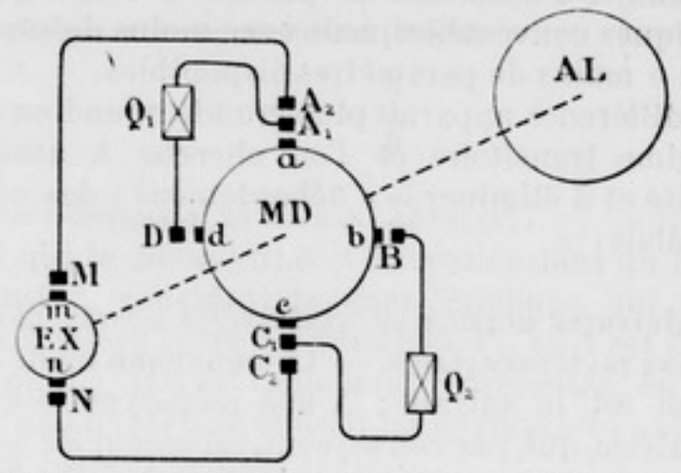


Fig. 52. — Schéma de la métadyne génératrice montée en huit.

nier schéma les triples points carrés aux balais a et c indiquent qu'entre les bornes A_1 et A_2, il y a en général des enroulements statoriques et qu'entre les bornes A_1 et le balai a il en existe d'autres.

7. Métadyne motrice ou génératrice utilisant un montage semblable a ceux de la métadyne transformatrice. — Si en partant d'un schéma fondamental comportant des appareils conduits par la métadyne, et donc relatifs aux métadynes transformatrices, on substitue les appareils conduits par des enroulements statoriques d'excitation de la métadyne elle-même, on aura évidemment une métadyne motrice ou génératrice. L'étude de son fonctionnement n'offre aucune difficulté nouvelle.

Il est à noter toutefois que certains balais n'ont alors à fournir sur toute la plage du fonctionnement pratique qu'un courant très faible, le courant d'une excitation; dans ce cas, on pourrait se dispenser, pour ces balais, d'appliquer le premier procédé éliminant l'action des enroulements statoriques sur la plage de commutation et l'on aura ainsi une pseudométadyne.

Joseph-Maxime Pestarini.

(1) Cette qualité est particulièrement intéressante pour certaines applications spéciales à l'éclairage électrique des trains, par exemple, auquel cas la machine AL est un essieu du wagon; la commande pétroléélectrique est un autre exemple; dans ce cas, la machine AL doit être à vitesse variable si l'on veut avoir le meilleur rendement du moteur thermique

Revues, analyses et informations

Les taches anodiques (2).

1. Introduction. — Lorsqu'on fait jaillir la décharge dans un tube de Geissler contenant certains gaz sous une pression convenable, on peut observer qu'au voisinage de l'anode, la lumière positive se résout en un certain nombre de lueurs hémisphériques brillantes qui sont les taches anodiques. L'apparition de ces taches semble liée à la présence de gaz dans les électrodes et c'est dans le but de vérifier cette assertion que l'étude actuelle a été entreprise.

L'appareil utilisé est un simple tube cylindrique de 6 cm de diamètre portant deux électrodes, dont l'une mobile. Leur écartement maximum est de 30 cm. Le tube soigneusement vidé d'air est rempli de gaz à la pression voulue et on fait fonctionner le tube; la cathode absorbe alors du gaz sous l'action du bombardement ionique et, au bout de quelque temps, on renverse la polarité des électrodes. La cathode ainsi

(2) C.-H. Thomas et O.-S Duffendach. *The physical Review*, 1er janvier 1930, t. xxxv, (2e série), p. 72-91, 6500 mots, 9 figures et 1 tableau.

« imbibée » de gaz devient alors anode et, si la pression est convenable, les taches apparaissent pour disparaître quelques minutes après. Le courant est alors interrompu et l'opération peut être reprise. Un four à induction permet, par ailleurs, de chauffer l'électrode au cas où on désire une élimination complète des gaz occlus.

Les taches anodiques ainsi obtenues se groupent symétriquement sur des circonférences dont le centre est sur l'axe de l'anode et, en général, tournent rapidement sous l'influence du champ magnétique créé par le courant de décharge. Leur nombre, leurs dimensions et leur durée dépendent des conditions expérimentales que l'on va étudier.

2. Influence du gaz du tube. — Une électrode parfaitement privée de gaz ne donne pas de taches. Celles-ci se forment aisément dans l'hydrogène, dans l'azote et dans l'anhydride carbonique. Dans l'hydrogène, on observe leur apparition avec une anode dégazée mise en contact avec le gaz pendant quelques minutes, en l'absence de décharge, par suite de l'absorption de ce dernier par l'électrode. Pour les trois gaz précités, la pression doit être comprise entre des valeurs correspondant à des hauteurs de colonne de mercure comprises entre 0,4 et 15 mm. L'oxygène ne donne pas de taches.

Mêlé d'anhydride carbonique l'oxygène donne des taches caractéristiques de ce dernier gaz lorsque la proportion atteint 40 pour 100. L'argon et le néon ne donnent lieu à aucune tache, sauf s'ils sont mêlés de vapeur de mercure. Une très faible proportion d'hydrogène fait apparaître les taches dans l'hélium.

3. Influence du métal des électrodes et de leur forme. — La nature du métal est sans influence, mais la présence d'impuretés à la surface de l'anode modifie la disposition des taches, sans doute en créant une absorption irrégulière du gaz (c'est le cas, en particulier, d'une électrode de charbon). La forme des électrodes se reflète sur l'arrangement des taches : Une anode triangulaire donne des taches disposées en plusieurs triangles.

4. Forme, dimensions et multiplicité des taches. — En général, les taches sont d'autant plus grandes et moins brillantes que le courant et la différence de potentiel entre électrodes sont plus faibles et que la température de l'anode est plus élevée. Leur nombre croît à mesure que leurs dimensions diminuent. Leur disposition varie également sous l'action d'un champ magnétique. On a déjà noté que leur rotation est due au champ créé par le courant de décharge. Au moyen d'un solénoide, on peut, en effet, modifier le sens et la vitesse de rotation. Si l'axe de ce solénoïde est perpendiculaire au tube, les circonférences sur lesquelles sont disposées les taches se déforment et deviennent des ellipses.

5. Relation entre les taches et le gaz occlus. — On a déjà vu que par simple contact, dans l'hydrogène, l'anode pouvait absorber du gaz et donner lieu à des taches pendant la décharge. La diffusion du gaz occlus jusqu'à la surface de l'anode peut produire le même effet, comme on peut l'observer sur une électrode utilisée après 48 heures de séjour dans le vide après disparition des taches anodiques au cours d'une première expérience. Ces taches ont d'ailleurs une durée très faible, soit 25 à 30 secondes, comme cela se conçoit dans l'hypothèse de la diffusion.

6. Application a l'étude de l'absorption des gaz. — On peut supposer que, dans un tube de Geissler, la cathode absorbe du gaz sous l'influence du bombardement ionique et d'autant plus que l'énergie et le nombre des ions sont plus grands.

De même, l'anode émet le gaz qu'elle a absorbé, sous l'influence du bombardement électronique, dans les mêmes conditions.

Plusieurs séries d'expériences ont été entreprises pour vérifier ces hypothèses. On trouve que pour une même « durée d'imbibition », c'est-à-dire le temps pendant lequel l'électrode utilisée comme cathode absorbe le gaz, la vie des taches est d'autant plus longue que le courant est plus intense pendant cette opération. Il en est de même si on utilise des électrodes ayant servi pendant plusieurs heures et qui ont été soigneusement dégazées après chaque opération. Enfin, un accroissement de la distance des électrodes produit le même effet.

De ces trois séries d'essais on a déduit que l'absorption du gaz par une électrode est fonction du nombre d'ions positifs qui la frappent, du fait que c'est une cathode, et de leur énergie cinétique. Par ailleurs, il semble que l'absorption très rapide de certains gaz, tel que l'hydrogène, par une électrode « âgée » soit due à un agrandissemement de la maille du réseau cristallin de l'électrode comme l'a déjà montré Baum.

Enfin, l'accroissement de la chute de potentiel entre les électrodes pendant la décharge a été expérimentalement trouvée fonction de l'état de la cathode seule ; la présence en quantité quelconque, de gaz dans l'anode, a très peu ou pas d'influence sur cette variation de potentiel.

7. Interprétation théorique des phénomènes. — Pour expliquer la formation des taches anodiques, on peut raisonner ainsi : en l'absence de gaz libéré à l'anode, les électrons forment une sorte de gaine à faible distance de cette électrode et, dans cet intervalle, le champ est bien plus intense que dans le reste de la colonne positive. Les électrons errants dans le tube acquièrent, en pénétrant dans cette gaine, une grande vitesse et forment alors des faisceaux d'électrons. Si l'anode dégage du gaz, celui-ci est ionisé et les ions positifs formés vont diminuer la charge de la gaine et la font reculer. Les flux d'électrons peuvent alors acquérir des longueurs de l'ordre du centimètre et les taches deviennent visibles. Pour une raison analogue, développée par Langmuir, ces taches se formeront facilement dans l'espace obscur qui sépare deux stries de la colonne positive, comme le montre l'expérience.

L'influence de la nature du gaz sur la production des taches s'explique de plusieurs façons. Dans le cas de l'oxygène, l'absence des taches est due à la formation de composés stables avec le métal de l'anode. Dans le cas des gaz rares il est probable qu'il n'y a pas absorption de ces gaz par l'électrode négative.

Enfin, la rotation des taches s'explique en admettant que les faisceaux d'électrons abordent l'anode sous des angles un peu différents de 90°, créant ainsi un certain champ magnétique radial, faible sans doute, mais suffisant pour provoquer la rotation des taches.

De ces essais, il semble donc résulter que le phénomène de production des taches anodiques peut devenir un bon procédé d'étude pour la détermination de l'émission de gaz par une anode dans un tube de Geissler et conséquemment, de l'absorption du même gaz par une cathode dans des conditions analogues. — A. A.

Variation de la constante diélectrique avec la fréquence (1).

1. Travaux de Debye. — Debye a rendu compte de la variation de la constante diélectrique en fonction de la fréquence en émettant l'hypothèse d'une polarisation électrique des molécules. L'expérience vérifie les conséquences tirées de cette théorie.

Certains liquides présentent une décroissance de leur constante diélectrique quand ils sont placés dans un champ électrique dont la fréquence croît. Au delà d'une certaine valeur de cette fréquence, la constante diélectrique garde une valeur N^2, N étant l'indice de réfraction de la substance envisagée. Debye a expliqué ceci en supposant que les molécules du liquide sont des doublets électriques qui s'orientent sous l'action du champ. Le temps mis par l'ensemble des molécules ainsi orientées à revenir à l'état de chaos parfait est le temps de relaxation du corps et la période du champ alternatif qui amène la constante diélectrique à la valeur N^2 est précisément égale à cette valeur. Debye a donné, pour ce temps de relaxation, la formule

$$\tau = \frac{4\pi\zeta a^3}{kT},$$

où ζ est le coefficient intérieur de frottement, a, le rayon de la molécule, k, la constante de Boltzmann et T, la température absolue.

2. Vérification de la théorie. — Les auteurs ont cherché à vérifier cette théorie et la formule qui en découle sur des solutions très diluées de substances polarisables dans des liquides inertes, la fréquence critique pour une dilution infinie étant déterminée par extrapolation. La substance utilisée est le nitrobenzène en solution dans une huile minérale de forte viscosité.

Le dispositif expérimental utilisé est le suivant : un oscillateur à quartz interchangeables fournit une oscillation à haute fréquence. Un deuxième circuit est accordé sur cette fréquence, ou sur l'un de ses harmoniques, par l'intermédiaire de deux condensateurs variables à air, étalonnés, et mis en parallèle avec un troisième condensateur d'essais rempli par le liquide à étudier. La résonance est contrôlée au moyen d'un voltmètre amplificateur. L'ensemble est protégé par un écran relié à la terre.

Pour étalonner le condensateur d'essais, on recouvre ses armatures de benzine pure dont la constante diélectrique est connue ; puis, ce condensateur étant mis au zéro, on crée la résonance au moyen des condensateurs à air. On amène ensuite l'index du condensateur d'essais à une graduation quelconque, 20 par exemple, et on rétablit la résonance à l'aide des condensateurs à air. La différence des lectures sur ces derniers donne évidemment la variation de la capacité entre les graduations 0 et 20 du condensateur d'essais et l'erreur due à la capacité des fils de connexion se trouve automatiquement éliminée. En répétant les expériences avec le liquide à étudier, on détermine le rapport des constantes diélectriques de ce dernier et de la benzine et, par suite, la valeur absolue de sa constante diélectrique.

Les fréquences employées correspondent à des longueurs d'onde variant de 154 à 34 m. Pour les fréquences plus grandes, on opère par extrapolation. La méthode décrite présente deux avantages principaux : en premier lieu, le fait d'utiliser des solutions diluées permet, en extrapolant pour des dilutions infinies, d'éviter l'effet des associations moléculaires éventuelles. En second lieu, les mesures se font à température constante et cela évite les corrections dues à ce que la valeur de la constante diélectrique est généralement une fonction décroissante de la température.

3. Résultats. — Les courbes obtenues pour des concentrations de 20,4, 9,5 et 3,2 pour 100 de nitrobenzène vérifient l'influence de la fréquence sur la valeur de la constante en tenant compte du fait que la viscosité du milieu varie avec la concentration en nitrobenzène. En guise de contrôle les expériences ont été reprises sur un liquide neutre : le paradichlorobenzène, dont les solutions ont à peu près la même viscosité que celle du nitrobenzène. Elles ont montré la parfaite constance de son pouvoir inducteur aux diverses fréquences utilisées.

La valeur de a dans la formule de Debye, tirée des mesures précédentes, est de $4{,}8 \times 10^{-8}$ cm. Elle est du même ordre que les valeurs données par l'étude du carbone au moyen des rayons X, celles-ci variant entre 6×10^{-8} et 8×10^{-8} cm. Des expériences entreprises antérieurement à cette étude avaient d'ailleurs permis de vérifier cette concordance sauf dans le cas de liquides très visqueux, tels que la glycérine pour lesquels le terme ζ de la formule de Debye ne doit pas représenter exactement le véritable coefficient de frottement interne.

La théorie permet de rendre compte de ce que les pertes dans un diélectrique et son échauffement ne suivent pas la loi de Joule. Dans un diélectrique à peu près parfait, la majeure partie de l'énergie perdue est utilisée au renversement des doublets polarisés au sein du liquide. Dans un diélectrique ionisé et par suite un peu conducteur les pertes sont beaucoup plus grandes et l'effet précédent se trouve masqué par l'effet Joule. — A. A.

(1) J.-H-L. Johnstone et John-Warren Williams. *The physical Review*, 1er décembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1483-1490, 2 000 mots, 3 figures et 5 tableaux.

Dispersion des particules β par les gaz légers et moment magnétique de l'électron (1).

1. Introduction. — L'auteur a essayé ici de vérifier expérimentalement l'hypothèse de l'existence d'un moment magnétique de l'électron par l'étude de la dispersion des électrons à grande vitesse (particules β) par les gaz à faible numéro atomique.

L'hypothèse, émise en 1925 par Uhenbeck et Goudsmit, de l'existence dans l'électron d'un moment magnétique égal à un magnéton de Bohr remet en question l'étude des déviations dues à la rencontre des électrons libres rapides et des électrons liés à une orbite atomique. On peut calculer, dans l'hypothèse de l'électron de nature uniquement électrostatique, la distance minimum à laquelle peut s'en approcher une particule β animée d'une vitesse correspondant à un potentiel d'émission de 344 000 v. Elle est de $8{,}3 \times 10^{-13}$ cm. Dans l'hypothèse mentionnée ci-dessus, les actions magnétiques et électriques sur la particule se compensent exactement à une distance 60 fois plus grande, à laquelle la déviation de la particule est d'un demi-degré. La force d'attraction magnétique devient vite prépondérante à des distances plus faibles et devra être mise en cause lorsqu'on observera des déviations plus importantes.

2. Principe de la méthode. — Dans le but de vérifier cette assertion, l'auteur a étudié la dispersion des particules β, qui sont des électrons à grande vitesse, par les gaz légers,

(1) Malcolm-C. Henderson. *The philosophical Magazine*, décembre 1929, t. viii (7e série), p. 847-857, 4 000 mots, 1 figure et 2 tableaux.

hydrogène ou hélium. Dans ces gaz, en effet, la dispersion électronique est respectivement la moitié ou le tiers de la dispersion totale due à la fois au noyau et aux électrons satellites, par suite des mesures bien plus précises pouvant être faites sur ces éléments que sur d'autres plus lourds; dans le cas de l'aluminium, par exemple, la dispersion électronique n'est que les 8/100 de la dispersion totale.

L'auteur mesure la dispersion par la méthode bien connue qui consiste à noter l'appauvrissement d'un faisceau de particules angulairement limité. La chambre de dispersion est cylindrique et le faisceau est limité par un système convenable de diaphragmes et d'écrans circulaires centrés sur l'axe du cylindre. Les rayons β utilisés provenaient d'une mince couche de radium E déposée sur un petit disque métallique situé sur l'axe de la chambre. Ces rayons avaient une vitesse moyenne correspondant à 334 000 v, environ les 8/10 de celle de la lumière.

3. Résultats des expériences. — Les résultats trouvés s'écartent quelque peu des résultats prévus théoriquement. Le calcul permet, en effet, d'établir que le pouvoir de dispersion d'un élément est proportionnel à l'expression : $aN^2 + N$, où N est le numéro atomique de l'élément étudié et a, un coefficient, dit correction de relativité, introduit par le fait que la masse de la particule β varie avec sa vitesse; a est égal à 1,2. Les expériences entreprises dans cette étude donnent pour ce pouvoir de dispersion les valeurs 0,8 et 0,4 respectivement pour l'hydrogène et pour l'hélium, valeurs plus grandes que la valeur théorique. On est, par suite, amené à remplacer l'expression précédente par la valeur $1{,}2\,N^2 + kN$ et à donner à k des valeurs différentes de 1. Pour $k = 3{,}3$ cette expression permet de calculer une valeur du pouvoir de dispersion qui coïncide à 8 pour 100 près avec la valeur expérimentale.

4. Interprétation des résultats. — On a vu, au premier paragraphe, que le moment de l'électron étant pris égal à un magnéton de Bohr, l'action magnétique sur une particule β compensait l'action électrostatique quand la distance de la particule à l'électron était égale à 60 fois la valeur minimum calculée en l'absence de moment magnétique. La déviation était alors d'un demi-degré et pour des déviations plus grandes, correspondant à des distances plus faibles il y avait une grande prépondérance de l'action magnétique. Sur ces bases, il est possible de calculer la grandeur de la déviation; mais l'on constate que la valeur calculée diffère largement de la valeur observée. Il apparait, par suite, invraisemblable que le moment magnétique de l'électron atteigne la valeur d'un magnéton que lui assigne la théorie.

D'autres particularités donnent, par ailleurs, à penser qu'en dehors du champ magnétique, un autre champ de forces agit au voisinage de l'électron et intervient dans la détermination de la déviation de la particule β par ce dernier. Il serait toutefois hasardeux d'émettre une hypothèse sur la nature de ce champ de forces en l'absence d'une investigation expérimentale plus avancée. — A. A.

Les variations de fréquence des oscillateurs à lampes (1).

Tous ceux qui utilisent des oscillateurs à lampes ont constaté la gêne apportée dans les expériences par les variations de fréquence dues à l'irrégularité des tensions de batteries et des autres caractéristiques de l'appareil. Les théories habituelles des oscillateurs ne traitent pas de la fréquence ; la présente étude comprend trois parties consacrées à l'étude des causes de cette variation, à leur théorie, et à la description d'un oscillateur à fréquence stable.

1. Résultats expérimentaux. — L'auteur considère le montage d'oscillateur dans lequel le circuit oscillant est inséré dans le circuit de plaque. Les causes de variation sont les suivantes : courant de chauffage, tension de plaque, tension de grille, couplage réactif, résistance de chaque élément de l'oscillateur. L'influence des inductances et des capacités est également appréciable, ainsi que naturellement le type du triode utilisé.

Une augmentation du courant de chauffage diminue la fréquence, mais les courbes tracées montrent que la variation est très faible lorsque le courant de chauffage est lui-même réduit, la fréquence obtenue étant sensiblement égale à celle que fournit la formule de Thomson $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Un rapport $\frac{L}{C}$ élevé, une trop forte inductance de grille, une faible résistance interne tendent à exagérer les variations.

L'influence de la tension de plaque se manifeste d'autant plus que le courant de chauffage est plus grand ; lorsque la tension croît, la fréquence décroît, passe par un minimum, puis remonte pour tendre vers une limite ; pour de faibles courants de chauffage, la variation est rapidement insensible. Un couplage lâche diminue l'importance des variations dues à la tension de plaque. La diminution de la tension de grille (négative) augmente la fréquence.

Les courbes représentant les variations de fréquence en fonction du couplage présentent trois formes principales suivant la valeur de la tension anodique. Pour de faibles tensions la fréquence décroît lorsque le couplage augmente; pour des tensions moyennes il existe un minimum : pour des tensions élevées, après un minimum aux faibles valeurs de couplage, on trouve un maximum aux valeurs élevées. L'introduction d'une résistance dans le circuit oscillant fournit une courbe ascendante lorsque la résistance est en série avec le condensateur, et une courbe à minimum lorsqu'elle est en série avec l'inductance.

2. Théorie. — Les théories classiques sont impuissantes à expliquer les variations constatées ; elles aboutissent à des résultats trop faibles ou de sens incorrects. L'auteur a basé sa théorie sur l'influence du courant de grille ; pour des fréquences moyennes, on peut dire que le courant de grille est la seule cause de variation ; pour de très hautes fréquences la capacité interne et le temps de parcours des électrons interviennent pour modifier la fréquence.

L'auteur reprend donc le calcul de l'oscillateur en tenant compte du courant de grille et des coefficients qui s'y rapportent. Il en déduit deux équations, que nous ne pourrions reproduire ici sans développer tout le calcul, dont l'une donne la valeur de la fréquence et l'autre, la condition d'entretien des oscillations. Les conclusions de ce calcul montrent que les variations de fréquence sont faibles si la capacité du circuit oscillant est forte, l'inductance de grille, faible, ainsi que le coefficient d'amplification, la résistance interne ne devant pas être trop réduite.

Le problème de la variation de fréquence avec le courant de chauffage revient à étudier celles de la résistance interne. L'auteur utilise pour cela les « caractéristiques réduites » : $I_p = f(V_p + KV_g)$; (I_p, V_p, courant et tension de plaque ; V_g, tension de grille ; K, coefficient d'amplification);

(1) D.-E. Martyn. *Experimental Wireless*, janvier 1930, t. VII, p. 3-15, 7500 mots, 9 figures.

il en déduit que les meilleures conditions sont un faible courant de chauffage et une forte tension de plaque. Lorsque la tension de grille est positive, les conclusions s'inversent. La même méthode fournit l'explication des variations en fonction de la tension de plaque ; la fréquence est stable lorsque le point figuratif se trouve dans le coude supérieur des caractéristiques réduites.

Les variations de couplage entraînant des modifications d'amplitude, deux influences contraires agissent sur la fréquence, et suivant celle qui l'emporte, on obtient l'une ou l'autre des formes de courbe indiquées plus haut. Il en est de même des variations dues à des résistances, lorsqu'on introduit ces dernières dans les équations.

En introduisant la capacité interne de grille et plaque dans les équations générales, on aboutit à deux nouvelles équations de la fréquence et de la condition d'entretien. Les modifications de capacité viennent de la dilatation des électrodes sous l'action thermique du filament, et aussi de la présence des électrons, qui dépend du chauffage. L'auteur a trouvé une faible influence sur la fréquence.

L'auteur examine ensuite l'influence du temps de parcours des électrons entre les électrodes, en étudiant la vitesse de propagation des potentiels. Le courant est composé du courant d'électrons et du courant de déplacement. La fréquence n'en est affectée que lorsqu'elle est très élevée, au moins de 10^7 p:s.

3. Oscillateur a fréquence constante. — Il est très important, dans la pratique, de posséder un oscillateur dont la fréquence soit stable à 1/100 000 près au moins. Il y a lieu de choisir des bobines aussi peu résistantes que possible et de grandes capacités. On peut supprimer le courant de grille soit par une résistance et une capacité, soit mieux par une batterie. Les divers éléments de l'oscillateur sont choisis en conformité des résultats indiqués plus haut. L'auteur indique qu'il aurait obtenu une constance à 1/1 000 000 près pendant plusieurs heures. — B. D.

Sur la radioactivité de divers métaux provenant de toitures anciennes.

Sous ce titre, M. Augustin Boutaric et Mlle Madeleine Roy ont présenté la note suivante à la séance du 24 février 1930 de l'Académie des Sciences (1).

1. — Nous avons utilisé un électromètre de Szilard, de grande sensibilité (dont la chambre d'ionisation comprend un large fond de 15cm de diamètre), installé à demeure au laboratoire de manière à éviter toute variation dans sa sensibilité. Lorsque l'appareil est muni de son fond d'aluminium, il n'éprouve qu'une décharge très lente (courant de fuite) due à l'ionisation spontanée de l'air et aux imperfections inévitables de l'isolement.

Ayant remplacé le fond d'aluminium par des feuilles de plomb, de zinc ou de cuivre provenant de toitures anciennes et disposées de manière que la face située à l'intérieur de la chambre d'ionisation fût la face externe de la toiture, nous avons constaté, dans tous les cas où nous étions sûrs de la provenance de nos feuilles, une vitesse de décharge nettement plus rapide qu'avec le fond d'aluminium. Lorsqu'au contraire la feuille de métal était disposée de manière que la face située à l'intérieur de la chambre d'ionisation fût la face interne de la toiture, la vitesse de décharge ne différait pas sensiblement de celle produite par le fond d'aluminium.

Voici la provenance de quelques-unes des lames de métal qui nous ont donné des résultats positifs :

N° 1 : Plomb de l'Observatoire de Paris (transmis par Mlle Maracineanu); n° 2 : plomb de l'Ecole normale des jeunes Filles de Dijon (50 ans); n° 3: plomb d'un immeuble de Dijon (35 ans); n° 4 : plomb du Château de Versailles, Galerie des Batailles (95 ans); n° 5 : zinc d'un immeuble de Dijon (20 ans); n° 6 : zinc provenant du château de Mme Shillito Dina, aux Avenières, à l'altitude de 1 050 m (20 ans); n° 7 : cuivre provenant de l'Observatoire Vallot au Mont-Blanc (35 ans).

Le tableau suivant donne pour ces diverses lames la vitesse de décharge de l'électromètre évaluée par le nombre de divisions dont se déplace l'aiguille en dix minutes pour le fond d'aluminium ; cette vitesse varie suivant l'humidité de la salle entre 0,5 et 0,9.

Numéro de l'échantillon.	Face exposée	Face non exposée
1 (10 avril 1929).....	7	1,2
1 (28 janvier 1930).....	7	1
2 (11 avril 1929).....	3,5	0,8
2 (15 octobre 1929).....	4,25	1
3	3	0,7
4	3,25	1,5
5	3,75	0,3
6 (10 octobre 1929).....	7	0,8
6 (15 février 1930).....	7,2	1
7	2,75	1

2. — Trois hypothèses pourraient être invoquées pour interpréter les faits précédents : 1° une désintégration des métaux sous l'influence d'un rayonnement venu du soleil ou de l'espace; 2° la présence d'impuretés radioactives dans le métal; 3° la fixation de produits radioactifs contenus dans l'atmosphère.

Le fait que le zinc et le cuivre longuement exposés à l'air libre peuvent devenir radioactifs aussi bien que le plomb ne nous paraît pas en faveur de la première hypothèse, émise par Mlle Maracineanu. Nous n'avons d'ailleurs constaté aucune variation de l'activité des métaux après une exposition de plusieurs heures à l'action des rayons solaires.

L'absence de toute radioactivité appréciable sur la face de la lame non exposée à l'air libre conduit à rejeter l'hypothèse que la radioactivité observée proviendrait d'une impureté radioactive présente dans le métal ; il suffit d'ailleurs de racler légèrement le métal pour lui faire perdre sa radioactivité qui se retrouve alors dans les raclures. La radioactivité constatée sur le zinc du château des Avenières et sur le cuivre de l'Observatoire Vallot, dans des régions où l'atmosphère est particulièrement pure, ne semble pas pouvoir être attribuée à une contamination par les fumées.

Il nous paraît plus vraisemblable d'admettre que les métaux peuvent fixer par absorption les émanations radioactives contenues dans l'atmosphère et dans l'eau de pluie. Le fait signalé par Mlle Maracineanu que la pierre voisine de la toiture en plomb de l'Observatoire de Paris n'est pas radioactive ne nous paraît pas en opposition avec cette hypothèse, soit que les émanations radioactives aient diffusé profondément dans la pierre, soit que, fixés à la surface, les dépôts actifs aient été entraînés par la désagrégation lente mais continue de la pierre sous l'influence des eaux pluviales.

(1) Augustin Boutaric et Madeleine Roy. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 24 février 1930, t. cxc, p. 483-485.

SECTION INDUSTRIELLE

La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension

A l'occasion de son cinquantenaire, l'Elektrotechnischer Verein invita M. René Thury à traiter cette question de la transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension, question qui lui est familière et même très chère, puisque, comme on le sait, le nom de M. Thury est lié à ce système de distribution ou, plus exactement, de transmission. C'est le texte de cette conférence que l'auteur a bien voulu nous communiquer et que nous reproduisons dans les lignes qui suivent. Lorsque M. Thury débuta dans la construction, en 1874, Siemens étudiait son induit en forme de navette et le transformait en lui adjoignant le collecteur de Paccinotti ; à cette même époque, Gramme établissait les premiers modèles de la machine génératrice à courant continu. Les tâtonnements et les recherches dans la construction se poursuivirent sans méthode générale jusqu'en 1881, date du Congrès international des Electriciens, à Paris, qui contribua à poser les bases de cette technique à l'aide des éléments résultant d'efforts jusqu'alors éparpillés. M. Thury rappelle que dès 1883 il avait réalisé un certain nombre de transmissions en courant continu, ce courant étant alors beaucoup mieux connu que le courant alternatif. Mais ce mode de transmission n'a pas seulement un intérêt historique ; il présente encore des avantages qui subsistent et que l'auteur de cet article fait ressortir en précisant les conditions de réalisation. Les deux points examinés en détail ici sont relatifs à la production du courant continu et à la transformation de l'énergie pour sa distribution. La conversion du courant alternatif en courant continu paraît à l'auteur une solution moins facilement réalisable, pour le but poursuivi, que la production directe à l'aide de génératrices compensées à excitation séparée ou à excitation série avec régulateur de vitesse ou de courant ; une longue expérience et de nombreux travaux ont conduit M. Thury à préférer la solution des génératrices à excitation séparée. En ce qui concerne les applications, la transmission en courant continu ne constitue pas une concurrence à la transmission en courant triphasé ; tandis que le second système s'impose pour la distribution en général, le premier peut rendre des services notables comme mode de transmission auxiliaire, dans un certain nombre de cas particuliers. Pour cette raison, et pour d'autres avantages précisés dans l'article qui suit, ce système ne doit pas être abandonné. Ajoutons qu'il s'agit d'ailleurs d'une solution qui a fait ses preuves, en France en particulier, et que M. Thury fait souvent mention des résultats obtenus sur la ligne de Moûtiers à Lyon, du réseau de la Société générale de Force et Lumière.

I. **Historique**. — Avant 1890, on ne connaissait encore, en dehors du courant continu, et très imparfaitement, que le courant alternatif monophasé. Le triphasé était dans les langes de la première enfance. Jeune technicien d'une maison de construction de Genève, j'avais, dès 1883, réalisé successivement plusieurs transmissions d'énergie en courant continu et le succès de ces installations fut un encouragement à faire mieux encore.

Aussi, lorsqu'en 1887, si je me rappelle bien, un ingénieur gênois, du nom de Preve, vint me voir à Genève pour me soumettre l'idée d'une véritable transmission d'énergie électrique destinée à être distribuée aux industriels d'une partie de Gênes, de Sampierdarena et de la vallée de la Secca, je me suis mis avec ardeur à l'étude d'un système permettant de résoudre ce problème alors nouveau. Une installation d'essai fut équipée à Isoverde, village industriel à 27 km de Gênes, au moyen de deux génératrices développant une tension variable n'excédant pas 2 200 V sous 45 A et alimentant en énergie pour la force motrice divers moulins et fabriques.

Dès le début, les résultats furent satisfaisants et le développement fut décidé. Ce développement s'étendit assez rapidement à la totalité de l'énergie hydraulique alors disponible, énergie en bien modeste quantité qui, néanmoins, grâce à une extrême économie dans la construction des deux usines génératrices et de la ligne, aux frais d'exploitation minimes, rendit pendant un quart de siècle environ des services dépassant de beaucoup ceux que l'on avait escomptés. La tension totale ne dépassait guère 12 000 V sous un courant constant de 45 A.

Un certain nombre d'installations furent mises en service dans le temps nécessaire à l'adolescence du triphasé, dont le développement fut, comme chacun le sait, de plus en plus rapide grâce aux travaux scientifiques d'une pléiade de savants et grâce aux incessants perfectionnements apportés par les constructeurs. Le courant continu fut alors peu à peu délaissé au point qu'aujourd'hui beaucoup en ignorent complètement la survivance qui est pourtant réelle. Plusieurs installations ont été transformées en triphasé pour des raisons d'unification ou d'intercon-

nexion avec les réseaux normaux. D'autres subsistent encore, mais seront certainement transformées un jour ou l'autre. Une seule installation s'est notablement développée et est encore en voie d'agrandissement, bien que le circuit à courant continu soit en quelque sorte incorporé à un vaste réseau triphasé dont il est le soutien et le régulateur.

II. **Caractéristiques générales des transmissions en courant continu.** — Cet abandon du courant continu est justifié en ce qui concerne la transmission d'énergie aux distances courantes. Le courant continu à haute tension est en effet impropre à la distribution générale, tout au moins sous sa forme actuelle (tension variable, intensité du courant constante). Il ne peut pas être transformé en basse tension continue ou alternative sans l'aide de machines tournantes, commutatrices, moteurs-générateurs ou transformateurs à commutateurs mobiles, qui sont loin de présenter la simplicité et la robustesse des transformateurs statiques alternatifs.

Je ne conçois donc l'emploi du continu que pour les transmissions d'énergie à très grande distance, par exemple au delà de 500 km, car il est établi qu'il peut franchir des distances supérieures à 1000 km dans des conditions de sécurité et d'économie tout à fait remarquables, alors qu'à ces distances les lignes triphasées sont vraiment trop coûteuses et ne se justifient plus, ni techniquement, ni financièrement. Je considère aussi, après expérience prolongée, que le continu, ne causant aucune fatigue aux diélectriques des câbles souterrains et ces derniers pouvant être construits économiquement pour supporter en toute sécurité même plusieurs centaines de kilovolts entre âme et enveloppe, peut seul permettre la suppression des lignes aériennes d'interconnexion constituant certains réseaux très étendus et leur remplacement par des câbles souterrains.

En outre, les propriétés particulières des génératrices de courant continu à haute tension permettent la solution de plusieurs problèmes de grand intérêt, telles que l'utilisation de la marée et celle des chutes d'eau de hauteurs très variables. Citons, comme exemple, le cas des barrages de retenue d'eau pour irrigation. Je pense en ce moment au barrage d'Assouan. En effet, le continu permettrait de transmettre encore une puissance utile très intéressante, alors que la hauteur de chute ne serait plus que le huitième ou le dixième seulement de la hauteur maximum, car turbines et dynamos ne sont pas asservies à une fréquence déterminée. Il en résulte que hauteur de chute et vitesse peuvent à chaque instant rester en parfait accord correspondant toujours au rendement maximum. Vous savez que les alternateurs ne pourraient se plier à cette exigence que par le moyen d'engrenages intermédiaires à rapports variables, solution que personne ne voudrait appliquer aux génératrices d'une grande usine. De même, pour l'utilisation des marées, les génératrices à courant continu seraient capables d'utiliser l'énergie encore disponible avant l'étale et le calcul montre que cette énergie supplémentaire ainsi utilisée est très loin d'être négligeable et peut à elle seule justifier une installation motrice maré qui, sans cela, serait à abandonner parce que trop coûteuse par unité de quantité d'énergie utilisable.

Je ne parlerai pas des cas spéciaux, ni du courant continu à la tension moyenne pour la traction, 1 500 à 3 000 v; je m'efforcerai seulement de ne considérer que le résultat de mes expériences et vous exposerai comment ont été résolus les problèmes que posent la génération et la transformation du continu à haute tension.

Je n'insiste pas sur les avantages propres au continu au point de vue des lignes aériennes et câbles. Ce point a déjà fait l'objet de recherches qui sont certainement connues et dont la conclusion est la grande supériorité du continu. Il me suffit de rappeler que la transmission d'énergie de Moûtiers à Lyon mise en marche en 1906, a confirmé cette supériorité.

En 1906, la ligne de Moûtiers à Lyon, avait une longueur totale de 360 km sous 50 000 à 58 000 v, dont 8 km de câbles pour la pénétration dans la ville de Lyon. Ce tronçon souterrain n'a jamais eu la moindre avarie. Depuis un certain nombre d'années, la tension a été augmentée à 100 kv environ et depuis lors, de nouvelles machines permettent d'atteindre 125 kv environ et le circuit dépasse 448 km, dont 72 km en câbles souterrains. Nous n'en sommes donc plus à la théorie pure, la pratique s'est prononcée dans le même sens.

En admettant donc que la production d'un courant continu à haute tension puisse être obtenue industriellement et que la transformation d'un tel courant puisse s'effectuer sans inconvénients techniques et économiques majeurs, il n'y aurait plus de doute : le courant continu s'imposerait chaque fois que la distance à franchir s'opposerait à l'emploi du triphasé par suite du coût élevé des lignes et pour d'autres inconvénients d'ordre technique.

La discussion peut donc s'établir sur ce thème : comment générer et transmettre le continu à haute tension nécessaire aux très longues transmissions, et cela au triple point de vue technique, économique et sécurité d'exploitation ? Je vais essayer d'apporter dans le débat les quelques pierres récoltées le long du chemin de mon expérience personnelle, vieille de plus de cinquante années, pierres qui seront peut-être de quelque utilité pour la construction de l'édifice.

III. **Génération du courant continu à haute tension.** — La technique moderne dispose de plusieurs moyens :

1° Transformateurs et redresseurs à vapeur de mercure ;

2° Commutatrices ;

3° Convertisseurs à collecteur séparé et à bagues tournantes, dont l'origine est l'appareil Hutin et Leblanc, appelé par ce dernier « panchahuteur » ;

4° Génération directe par dynamo à haute tension.

Dans tous les cas, nos connaissances actuelles nous obligent à la mise en série des appareils transformateurs ou générateurs, pour la raison simple qu'il n'est pas possible de construire ni redresseur à vapeur de mercure, ni commutatrice, ni convertisseur à bagues tournantes, ni dynamo, capables de supporter le nombre respectable de kilovolts requis par l'économie des longues lignes de transmission. Mais fort heureusement cette mise en série ne présente pas de difficultés insurmontables, loin de là. Elle est applicable aussi bien au cas du potentiel constant qu'à celui de l'intensité du courant constante. Ceci dit, passons en revue ces divers moyens.

A. **Redresseurs à vapeur de mercure.** — J'ai consulté jadis la Société Brown, Boveri et Cie, à Baden, pour savoir si l'on pouvait introduire ces appareils en série sur un circuit à courant continu dont la tension s'élevait à cette époque entre 75 et 100 kv et qu'il aurait été avantageux de développer par transformation d'une partie de l'énergie disponible en triphasé dans la même région. Le résultat très résumé de nos études a été celui-ci : Rien ne s'oppose à la mise en série, par le côté de courant continu, d'un certain nombre de redresseurs à vapeur de mercure. Chaque redresseur est alors alimenté individuellement par un transformateur approprié dont le secondaire doit être fortement isolé, comme s'il donnait la tension totale prévue en courant continu ; par exemple, dans le cas envisagé, la tension continue entre ligne et terre devait s'élever normalement à 125 kv et les transformateurs devaient donc pouvoir éventuellement être isolés pour une tension alternative $\frac{125}{\sqrt{2}}$ kv = 88 kv. La Société Brown, Boveri et Cie n'y voyait aucun inconvénient et me donna toute assurance à ce sujet.

D'autre part, les redresseurs eux-mêmes devaient être isolés du sol. Mais cela ne présentait de même aucune difficulté spéciale, puisque le problème avait été pratiquement résolu depuis plusieurs années pour les génératrices et réceptrices placées en série sur ce même circuit.

Il y a lieu de noter que la mise en série de redresseurs à vapeur de mercure présente moins d'inconvénients que la marche en parallèle de ces mêmes appareils en cas de retour de courant par court-circuit intérieur. En effet, la mise en court-circuit intérieure et accidentelle d'un convertisseur ne provoque pas de retour de courant continu dans l'appareil, lorsqu'un certain nombre d'unités sont en série sur le circuit général. Toutefois, ceci n'exclut pas toute possibilité de court-circuit intérieur du courant alternatif lui-même ; mais il est plus aisé de protéger chaque unité lorsqu'un retour en courant continu est exclu.

A cette époque déjà lointaine, la Société Brown, Boveri et Cie ne pouvait pas encore garantir plus de 3 kv en courant continu par appareil. Leurs essais à l'usine avaient été poussés jusqu'à 6 000 v et laissaient espérer un grand progrès ultérieur. Comme il fallait obtenir une tension de 30 kv environ, il eût fallu disposer de 10 unités au moins en série et le coût d'une telle installation devenait déraisonnable puisqu'il ne s'agissait que de 4 500 kw.

Depuis ce temps, de gros progrès ont été le fruit du travail persévérant de la société précitée et d'autres constructeurs. Le prix de la conversion a été abaissé et n'est peut-être plus prohibitif. Néanmoins, si l'on considère d'un peu près l'économie et les avantages de ce mode de conversion, l'on ne peut que constater qu'il exige un matériel important en transformateurs à haute tension et appareillage pour ces transformateurs, et à côté des redresseurs eux-mêmes. Pour obtenir quoi ? Simplement pour pouvoir installer des unités génératrices triphasées au lieu de génératrices donnant directement à la ligne, sans aucune transformation, du courant continu. Il est certain que ces dernières sont notablement plus onéreuses que de simples alternateurs et que ceux-ci se construisent pour des puissances aussi élevées qu'il est utile. Je suis tout à fait d'accord. Je dois cependant constater que la suppression complète de l'usine de conversion économise un gros capital, qui est supérieur à la plus-value des machines à courant continu. En outre, l'économie des pertes inhérentes à la conversion représente aussi un capital non négligeable. Enfin, je préfère une usine très simple, ne comprenant que des turbines et des dynamos, à deux usines formant un ensemble complexe et exigeant plus de personnel.

Je n'exclus pas, malgré tout, l'emploi du redresseur à vapeur de mercure ; il pourrait rendre de bons services, surtout pour l'utilisation sur un circuit des excédents d'usines génératrices de courants triphasés. C'est regrettable qu'il ne soit pas réversible et ne puisse ainsi constituer un lien élastique facilitant les interconnexions.

B. **Commutatrices.** — Le couplage en série de plusieurs commutatrices alimentées chacune par transformateur indépendant est possible sur le côté continu, ce qui permet, en principe, d'atteindre de hautes tensions sans dépasser les limites imposées par leurs collecteurs. Je n'ai pas une expérience personnelle suffisante me permettant de proposer une limite de tension d'une commutatrice et j'avoue que je serais extrêmement embarrassé si l'on me demandait d'établir une de ces machines pour une tension plus grande que 3 000 v à 50 p:s. Je n'y consentirais que si j'avais la liberté de choisir une fréquence à mon gré et celle-ci serait nécessairement très basse, ceci dit, pour montrer de suite la complexité d'une station de transformation pour 150 ou 200 kv par commutatrice. Je n'insiste pas, car chacun le comprend sans autre et s'imagine clairement ce que pourrait être un tel poste, tant au point de vue des frais d'exploitation qu'à celui des pertes d'énergie et des complications de la manutention.

Du reste, il serait bien difficile, peut-être impossible, de réaliser le réglage exact de l'intensité du courant à

tension variable. La commutatrice s'adapte à peu près bien seulement au réglage d'une tension constante. Nous verrons plus loin que cette dernière solution n'est pas toujours l'idéal.

C. **Convertisseur à collecteur séparé et à bagues tournantes.** — Ce convertisseur imaginé par Hutin et Maurice Leblanc a été repris ces dernières années, sous le nom de « transverter », par Highfield. J'ai l'honneur d'avoir fait bonne connaissance avec l'auteur de cet appareil et d'avoir assisté à ses premiers essais. Le problème n'était pas nouveau pour moi, car j'avais fait une tentative de réalisation du principe de ce convertisseur plusieurs années auparavant. J'avais eu d'autre part l'occasion de m'occuper de l'appareil que Hutin et Maurice Leblanc avaient installé à l'usine génératrice de Rouen, voici plus de 25 ans, chef-d'œuvre d'ingéniosité, mais impossible à appliquer aux puissances supérieures à quelques centaines de kilowatts, par suite des embarras multiples causés par une commutation défectueuse.

J'ai moi-même abandonné cette voie dès mes premiers essais et cela dès constatation que je n'étais pas maître de la commutation. M. Highfield a certainement été plus heureux que moi. Je ne sais malheureusement pas s'il a résolu radicalement ce point très difficile et s'il est par suite capable de construire des collecteurs marchant irréprochablement avec des courants de l'ordre de plusieurs centaines d'ampères pour des tensions supérieures à 10000 v au moins par collecteur.

Je remarque, à la suite de mes études personnelles, qu'il est nécessaire qu'un collecteur de ce type de convertisseur fonctionne au moins aussi bien que celui de la meilleure machine à courant continu munie de pôles de commutation irréprochables, car l'entretien d'un collecteur fixe est beaucoup moins aisé que celui d'une machine ordinaire. Un collecteur tournant peut être tourné et repoli sans aucune difficulté, aussi bien que s'il était monté sur un tour. Au contraire, le collecteur fixe est d'un centrage plus difficile. Il faut l'aléser sur place et son repolissage est loin d'être aussi facile que celui d'une dynamo.

Pour ces motifs, il est nécessaire que la commutation reste parfaite à toutes les charges, sinon on ne peut parler de haute tension continue que pour de faibles débits et l'on court le danger d'amorçage sur un collecteur. En effet, j'ai pu autrefois obtenir 15000 à 20000 v d'un seul collecteur fixe bipolaire et de faible diamètre (0,40 m, si j'ai bonne mémoire). Et dans mes essais j'ai pu pousser jusqu'à 30000 v sans aucun dommage. Mais il s'agissait de faibles débits, inférieurs à 1 A. L'arc au collecteur ne s'amorce alors que difficilement ; mais dès que l'intensité du courant disponible s'élève, le danger de l'amorçage augmente rapidement d'abord, moins vite ensuite, et devient de plus en plus fâcheux à cause de sa nocivité. C'est la raison pour laquelle la tension moyenne entre lames du collecteur doit être abaissée. Tandis que l'on peut admettre 500 v entre lames du collecteur d'une petite machine de quelques dixièmes d'ampère, on est obligé de descendre au vingtième de cette valeur s'il s'agit de puissantes génératrices industrielles.

Ainsi donc, par suite de l'irréversibilité des redresseurs à mercure et d'autres sortes de soupapes, l'utilisation du courant continu à haute tension pour les grandes transmissions à grande distance est en majeure partie liée à l'existence nécessaire de collecteurs et, plus encore peut-être, à leur très bonne marche pratique.

Si nous supposons résolue la question de la commutation des collecteurs des « transverters Highfield », alors seulement, ces appareils apparaissent comme très intéressants, en ce sens surtout que leur rendement est très élevé et qu'ils permettent d'envisager l'adoption du potentiel constant, comme en courant alternatif, alors que je n'ai réussi jusqu'ici que par l'adoption du courant constant à réaliser d'intéressantes transmissions d'énergie en continu à haute tension.

Au point de vue de la génération du courant, il semble plus rationnel de laisser les collecteurs à leur place naturelle, c'est-à-dire comme partie intégrante des génératrices, puisque celles-ci peuvent être couplées en série aussi bien et mieux encore que les « transverters » et puisque ces derniers n'évitent pas les difficultés de la commutation ; bien plus, ils les augmentent certainement.

D. **Génération directe du courant continu à haute tension.** — 1. Généralités. — En principe, rien ne peut être plus simple que la génération directe. Elle est actuellement seule employée, et la transmission d'énergie de Moûtiers à Lyon, en service depuis 1906, peut être considérée comme un cas typique constituant une belle expérience pratique du fait de son développement par étapes successives. La tension actuellement atteinte en service courant varie avec la charge jusqu'à 125000 v ; mais la société exploitante en a prévu le développement jusqu'à 250 kv. Toutefois, depuis peu, la liaison du réseau triphasé de la société avec d'autres réseaux a été envisagée. Un réseau triphasé à haute tension permettra cette interconnexion et il est bien possible qu'une des raisons d'être du circuit à courant continu cessant d'exister, l'extension projetée ne devienne inutile. Mais il est également possible qu'après avoir reconnu l'immense avantage technique d'une liaison élastique des différents réseaux, on ne revienne plus tard à l'obligation de développer à cet effet la transmission en courant continu pour le plus grand bien du fonctionnement général de l'interconnexion en courant triphasé ; je souhaite à ce sujet que l'on évite avec le plus grand soin toute politique de parti pris et que l'on sache prendre des dispositions purement objectives.

Je reviens à mon sujet. Une usine génératrice à courant continu équipée pour le système de transmission en série comprend un nombre d'unités en rapport avec sa puissance et la tension attribuée à chaque unité. La tension maximum prévue exige la marche en série de toutes les unités, sauf celles gardées en réserve. La

puissance totale est alors utilisée. Aux autres charges, on arrête les unités inutiles et la tension est réduite proportionnellement à la puissance. Le service de l'usine est donc identiquement le même que celui d'une usine génératrice normale à courant triphasé, à cette différence près que l'on maintient dans ce dernier cas la tension constante et non pas le courant et que l'on proportionne le nombre d'unités en service au courant total, pour le triphasé, et à la tension totale pour le continu.

Ceci rappelé pour mémoire, on constate que les deux genres d'usines se ressemblent beaucoup. L'usine à courant continu, dans certains cas, sera équipée d'un nombre plus grand d'unités plus faibles. Par contre, on n'y trouvera aucun organe transformateur de la tension des génératrices; celles-ci sont reliées directement à la ligne. On remarquera aussi que les génératrices à courant continu sont plus lourdes que celles à courant triphasé, parce que le collecteur, pour redresser une tension suffisamment haute, exige que les machines génératrices soient à basse fréquence, 12,5 à 25 p:s au plus. Cela seul permet d'envisager des tensions de l'ordre de 7 500 à 12 500 v par collecteur.

2. Objections opposées a la génération directe de courant continu. — Quelles sont les principales objections faites par la majorité des ingénieurs à l'adoption de la génération directe de courant continu à haute tension? Service plus complexe; unités trop faibles et partant, trop nombreuses; emploi de collecteurs à haute tension; danger d'arcs au collecteur et nécessité d'isoler du sol les bâtis des machines; inductance trop élevée; voyons ce que la pratique nous enseigne.

1° *Service plus complexe.* — Je ne le crois pas. Une station génératrice série ne comprend normalement qu'un seul circuit à régler et ce réglage est automatique.

Le tableau général de distribution est pour ainsi dire inexistant : il se réduit à un seul panneau de contrôle comprenant un ampéremètre et un voltmètre, outre le compteur d'énergie et un ou deux appareils enregistreur, sans aucun appareil de manœuvre au tableau.

Le service est donc complètement assuré par les mécaniciens chargés de la surveillance générale des turbines et dynamos. Ce service est un peu plus chargé que celui des alternateurs, à cause du plus grand nombre de collecteurs en marche : le nettoyage aussi peut être considéré comme occupant davantage les agents. Mais on peut observer qu'en pratique, le personnel est très peu occupé; en fait, il n'est là que pour la surveillance et les manœuvres des unités. D'autre part, ces manœuvres sont des plus simples. Il n'y a pas d'opération délicate de couplage; on met en marche le moteur de l'unité. Dès sa mise en vitesse, on insère la génératrice en circuit après amorçage à l'intensité du courant de régime. Quelques secondes suffisent, ainsi que je l'ai contrôlé moi-même à Saint-Maurice. Il m'a fallu 15 secondes pour la mise en marche à pleine charge d'une unité et l'arrêt d'une autre, ce temps est pris surtout par l'ouverture de la turbine. Le personnel exécute la même manœuvre en 10 secondes. On ne fait pas mieux dans le cas du triphasé, au contraire.

2° *Unités génératrices.* — Jusqu'ici, la nécessité de l'adoption de fortes unités ne s'étant pas fait sentir, les installations en courant continu ont été de faible puissance. L'installation de Gênes comprenait deux stations génératrices, en série au point de vue hydraulique avec une troisième petite usine. Les deux premières ont été équipées de quatre turbines de 100 kw chacune; il n'y a rien d'exagéré dans ce cas. Nous trouvons en effet trois unités en service et une de réserve dans chaque station. Si ce travail était à refaire, nous adopterions probablement deux unités par usine, plus une de réserve, soit 150 kw par unité.

La dernière installation méritant d'être citée s'est développée très graduellement par l'utilisation successive de plusieurs chutes d'eau de peu d'importance, plus ou moins distantes les unes des autres. On a débuté à Moûtiers par quatre unités donnant 75 a seulement et 14 200 v, soit par unité 1 065 kw, à la tension totale de 56 800 v. Plus tard, par la mise en série de deux autres petites usines génératrices, la tension a été portée à 100 kv environ et le courant a été doublé. Les trois unités de la station de la Rozière produisent chacune normalement 18 000 × 150 a, soit 2 700 kw par turbine; la tension par collecteur est de 4 500 v.

Le développement suivant a été effectué au moyen d'unités plus puissantes encore et toujours bien proportionnées à l'importance de l'énergie hydraulique disponible. Chaque turbine actionne un groupe de trois machines montées sur bâti unique. Les induits sont séparables et interchangeables. Chaque collecteur donne 7 500 v sous 150 a; la tension peut s'élever à 7 800 v à pleine charge. L'unité donne donc 22 500 v et 150 a, soit 3 375 kw et 3 500 kw à pleine charge de la turbine.

Ainsi, les dernières unités sont actuellement 35 fois plus puissantes que les premières, celles de Gênes. Mais, aujourd'hui, on considère qu'en matière de transmission d'énergie à grande distance, d'aussi faibles unités sont absolument insuffisantes, et cela est très juste. Une transmission d'énergie à 1 000 km et plus ne peut se justifier que si la quantité d'énergie transmise est largement suffisante pour justifier les frais de la ligne nécessaire et tant d'autres dépenses. Pour couvrir de tels frais, il faut vendre un nombre respectable de kilowatts-heures et je ne conçois guère qu'une énergie de moins de 50 000 kw puisse concurrencer avec fruit une usine thermique (sauf dans quelques rares cas), lorsque cette énergie est située à un millier de kilomètres du lieu d'utilisation.

Pourquoi les unités construites jusqu'ici n'ont-elles pas dépassé 3 500 kw? La raison en est l'adoption d'un très faible courant, de 150 a dans le cas particulier, et ce chiffre correspond tout simplement aux données économiques du problème posé à l'époque. Aucune raison technique ne s'oppose à l'augmentation du courant. Supposons, par exemple, une transmission de

60 000 kw à 1 000 km; le calcul montre qu'il faut admettre non moins de 300 000 v, avec le point neutre relié à la terre, ou 150 000, la terre utilisée comme retour. Malgré cette tension élevée, il sera utile d'admettre en ligne une perte relativement élevée, soit, pour fixer les idées, 20 pour 100 de la tension reçue, c'est-à-dire quelque 30 kv.

Nous aurons donc en courant continu

$$\frac{60\,000 \text{ kw}}{150 \text{ kv}} = 400 \text{ a.}$$

Les génératrices seront fixées par ce chiffre et par la tension admissible par collecteur. Supposons un groupe à deux collecteurs de 10 kv et 400 a. Nous aurons ainsi des unités de 8 000 kw, au nombre de 9 unités pour la pleine charge de l'usine, sous 180 kv en admettant 20 kv pour chaque unité.

Admettons que nous ayons la possibilité d'installer des turbines de puissance double, c'est-à-dire de 16 000 kw. Il suffira d'admettre deux groupes de dynamos en tandem, isolés l'un de l'autre comme on le pratique dans deux des usines de la transmission d'énergie de Moûtiers à Lyon. Pratiquement nous admettons cinq unités, plus une de réserve, à une tension par groupe un peu inférieure à la tension normale.

Mais que coûte la ligne à si faible tension? Je rappelle ici que l'utilisation régulière de la terre permet, à égalité de poids de cuivre, d'abaisser de moitié la tension; donc la tension de 180 kv que nous admettons à l'usine génératrice pour la pleine charge est l'équivalent de celle de 360 kv sans retour par la terre, et ainsi le prix du cuivre rapporté à un kilowatt transmis à 1 000 km n'est pas excessif.

La résistance du conducteur pour une chute de tension admise de 20 pour 100 est égale à

$$\frac{30\,000 \text{ v}}{400 \text{ a}} = 75 \text{ ohms,}$$

donc pour 1 000 km, 0,075 ohm par kilomètre, ce qui conduit à une section de 244 mm² et à un poids de 2 284 t pour une puissance reçue de 60 000 kw, soit 38 kg par kilowatt. Ce poids n'a rien d'excessif, loin de là.

Que serait la ligne? Pratiquement, nous la décomposerions en deux fils de demi-section suspendus de part et d'autre des pylônes. Etant équipotentiels et réunis entre eux à chaque poste intermédiaire, un danger de court-circuit n'existe plus. La chute à la terre par rupture est extrêmement rare pour des câbles de cette section. A moins de rupture des deux câbles d'une même section, le service n'est pas interrompu et peut se poursuivre sur un seul câble, l'autre devant être simplement isolé au moyen des sectionneurs par les deux postes de la section avariée.

Je ne crois pas qu'il soit possible de transmettre une quantité d'énergie de cette importance par une ligne plus simple, plus sûre en exploitation et plus économique. Au point de vue des pertes par effet de couronne, il faut se rappeler que la tension moyenne supposée égale à 175 kv au milieu de la ligne est l'équivalent d'une tension alternative de $\frac{175}{\sqrt{2}} = 125$ kv et que les deux fils qui composent la ligne sont équipotentiels et à une bonne distance du sol. En cuivre, le diamètre du câble est de 14 mm. Ces pertes seraient ainsi pratiquement négligeables, surtout si l'on emploie l'aluminium.

Ces considérations montrent qu'avec une tension continue modérée et sans sortir des conditions actuellement connues, on peut réaliser, avec une usine génératrice de construction normale et le retour du courant par le sol, une transmission d'énergie économique à 1 000 km et plus encore, sans obligation d'adopter un nombre d'unités génératrices exagéré, puisque 5 à 10 y suffisent (que l'on utilise ou non la terre comme conducteur actif), suivant les exigences de la partie hydraulique.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de doubler ultérieurement la puissance envisagée. On installera un nombre croissant de nouvelles unités, sans autre changement, sauf si l'on juge que la tension ne peut être accrue sans risques. Dans ce cas, l'on peut doubler le courant par couplage en parallèle des deux induits de chaque génératrice existante, ainsi qu'il a été fait dans l'installation de la transmission de Moûtiers à Lyon, et les nouvelles unités pourront être bobinées pour le nouveau courant, soit, dans l'exemple cité, pour 800 a. Deux nouveaux câbles seront posés sur les mêmes pylônes ou sur d'autres.

Remarquons que les révisions et les réparations, changements d'isolateurs, etc., peuvent toujours être effectués en pleine marche par la mise à terre du ou des conducteurs intéressés, les conducteurs sous tension, de l'autre côté du pylône, étant trop éloignés pour offrir un danger pour le personnel.

Les nouvelles unités peuvent donc être de puissance double si cela était utile, puisque seule la tension au collecteur est limitée. Pour 800 a, la limite pratique de tension sur un seul collecteur étant arrêtée à 10 kv, chaque induit développerait 8 000 kw et les deux groupes en tandem sur une seule turbine pourraient ainsi atteindre 32 000 kw. Le plus souvent les constructeurs de turbines préféreront ne pas s'engager aussi loin par suite des nécessités d'accorder chute, puissance et vitesse.

Je ne donne ces chiffres que pour fixer au mieux les possibilités actuelles au point de vue de la puissance unitaire et pour montrer que le nombre des unités est fixé par la tension du courant que peut engendrer un induit et non du tout par la puissance totale de l'usine. Le courant transmissible est fonction directe de la puissance disponible sous forme d'énergie hydraulique et la puissance d'une unité est également proportionnelle au courant, la tension étant limitée. Le nombre d'unités, ne peut donc être considéré comme nécessairement exagéré.

3° *Emploi de collecteurs à haute tension.* — Chacun me demandera s'il n'est pas audacieux d'admettre 10000 à 12000 v par collecteur. Ce serait en effet plus qu'audacieux, ce serait folie de proposer de telles tensions pour du courant continu si l'on devait employer tels quels les types normalisés construits partout. Mais rien n'empêche de construire des machines adéquates. Aussi le problème a-t-il été résolu par plusieurs auteurs indépendants, dont la conclusion unanime a été que l'on pouvait aborder les 10000 v en toute sécurité à condition de rompre quelque peu avec la routine. Deux voies s'offrent, ayant chacune ses avantages propres et aboutissant au même résultat pratique. La voie la mieux connue des constructeurs, en général, a été suivie par la Société alsacienne de Constructions mécaniques à Belfort, qui l'a étudiée avec le plus grand soin avec l'auteur du présent article : les génératrices sont à très faible nombre de pôles (4 ou 6) et à grand pas polaire, nécessité par le grand nombre de conducteurs à loger dans les encoches du rotor. Ceci implique une forte réaction transversale, des plus nuisibles. En conséquence, un enroulement compensateur est judicieusement réparti sur les pièces polaires du stator et annule exactement le champ transversal. Des pôles de commutation à grand entrefer ajoutent leur action à celle de cet enroulement et assurent une bonne commutation aux différentes charges, depuis la marche en court-circuit jusqu'à la marche à pleine tension. Les épanouissements polaires sont très étendus et ne laissent entre becs polaires que la place normalement nécessaire au pôle de commutation. La courbe du champ inducteur n'est pas déformée. Le stator n'est pas excité en série comme à l'habitude, mais bien par une excitatrice faisant partie du groupe. Cette excitatrice est elle-même excitée séparément et est munie d'un enroulement à action différentielle en série avec la génératrice. Cet enroulement désexcitant est assez important et son rôle principal est celui de régulateur de courant. L'inducteur de l'excitatrice est spécial; il laisse une large place pour ces deux enroulements. Tout le réglage se fait donc par l'excitation séparée de l'excitatrice; les variations du courant primaire se corrigent en grande partie d'elles-mêmes et le réglage est parachevé soit à la main, soit automatiquement, exactement comme dans le cas habituel de marche à tension constante, adopté dans toutes les usines génératrices triphasées ou autres.

La stabilité du courant ne dépend plus du régulateur ; elle est assurée automatiquement par la machine même. Aucune inversion de polarité n'est possible, grâce à l'excitatrice primaire dont l'inducteur et le collecteur sont établis spécialement en vue d'éviter cette éventualité. L'induction mutuelle des deux enroulements du stator de l'excitatrice est compensée extérieurement par un transformateur, afin que soit facilitée la rapide désexcitation des groupes en cas de court-circuit en ligne. Dans un pareil cas, la tension de l'excitatrice s'inverse fortement et décroît ensuite jusqu'au moment où l'intensité du courant s'est abaissée à sa valeur normale. En cas de rupture du manchon d'accouplement, l'allure du groupe ralentit et le groupe continue à tourner dans le sens normal.

4° *Perturbations et surtensions.* — On remarque que de telles machines ont une inductance très faible, conséquence naturelle de l'exacte compensation du flux du rotor et de la complète suppression de l'enroulement inducteur en série. Ceci est d'une grande importance au point de vue de la possibilité de production de surtensions en cas de brusque et importante variation d'énergie dans le circuit. Théoriquement, il ne devrait jamais se produire de surtensions, puisque le courant est constant par essence, que le circuit n'est jamais interrompu et que la charge statique des différentes parties du circuit ne varie que très lentement. Mais lorsque l'on ne se sert pas de la terre comme conducteur de retour, les lignes n'étant plus équipotentielles sont sujettes assez fréquemment à supporter des courts-circuits partiels et quelquefois même directs, ceci surtout pendant les saisons orageuses et en pays de montagnes. Dans ces cas, des ondes de courant se propagent et s'accusent par des surtensions soit au parafoudre, soit parfois aux bornes des inducteurs et des induits. Ces ondes sont naturellement fonction de l'énergie accumulée dans le circuit et cette énergie est elle-même fonction de l'inductance de l'ensemble du circuit. Il y a donc intérêt à réduire cette inductance et le meilleur moyen est bien d'abandonner l'excitation série et de lui préférer l'excitation séparée avec compensation complète du champ propre de l'induit.

Ainsi, l'excitation séparée permet d'obvier d'une façon pratiquement radicale à une objection souvent formulée, à savoir que l'inductance élevée des machines série s'opposait au développement du système à cause des surtensions qui devaient inévitablement se produire dans certains cas. Rappelons que le système de transmission en série ne comprend aucun disjoncteur dans le circuit, ni interrupteur proprement dit. Interrupteurs et sectionneurs sont en effet construits de telle sorte qu'ils ne puissent jamais couper le circuit général ; leur fonction est de remplacer une boucle locale par un double court-circuit tout en isolant cette boucle du circuit à haute tension. Chaque machine à l'arrêt est ainsi à la fois mise en court-circuit et rigoureusement isolée du circuit général.

Considérons les deux cas suivants :

a) Courant continu. — Normalement, le courant est constant et ne s'inverse jamais. Il n'est jamais interrompu autrement que par l'arrêt graduel des génératrices ou par la rupture accidentelle de la ligne ; les charges statiques varient proportionnellement à la puissance de l'usine, c'est-à-dire très lentement. Les machines donnent un courant non ondulé ; il n'est pas question d'harmoniques. La résistance des machines est presque purement non inductive.

b) Courant alternatif. — Pour la fréquence normale, soit 50 p:s, la tension et le courant varient normalement pour 100 ampères, par exemple, de $+ 100\sqrt{2}$ à

— $100\sqrt{2}$, soit une variation moyenne totale de 282 pour 100 et ceci 100 fois par seconde, ou, si on préfère, 8640000 fois chaque jour et machines et transformateurs, me semble-t-il, ne sont tout de même pas dépourvus d'inductance.

Dans lequel des deux systèmes y a-t-il plus de risques de production de surtensions?

3. Etude spéciale des génératrices a excitation série. — J'ai dit plus haut que deux voies s'offraient pour la solution du problème de la génération directe du courant continu à haute tension; je viens d'envisager la solution consistant en l'emploi de génératrices compensées, munies de pôles de commutation et excitées séparément par une excitatrice jouant le rôle de régulateur de courant. Examinons la seconde voie, actuellement en usage dans la plupart des usines génératrices de courant continu à haute tension. J'aurais dû la classer première.

Les génératrices sont équipées en série. Elles marchent soit à vitesse variable, le régulateur de courant agissant sur le distributeur de la turbine, soit à vitesse constante, le régulateur décalant plus ou moins les balais. Je laisserai de côté le premier système pour ne parler que du second, car on l'a préféré à l'autre dans les dernières usines génératrices installées.

Le réglage par décalage de balais a surpris beaucoup d'ingénieurs lorsque je l'ai introduit sur le réseau de Zoug d'abord, en 1897, puis, peu après, sur le circuit « série » des villes de La Chaux-de-Fonds et du Locle, en Suisse. Il était alors difficile de comprendre comment il pouvait être possible de marcher sans étincelle à toutes les charges et à courant constant. La chose est cependant très simple et chacun en saisira le mécanisme en sachant que l'inducteur tout entier est simplement considéré et calculé comme n'étant formé que de pôles de commutation. On peut donc dire sans se tromper que ces génératrices, ou réceptrices, sont des machines ordinaires à pôles de commutation, dont on a supprimé les pôles principaux et développé d'autant les pôles de commutation.

Par le choix de justes proportions et d'entrefers relativement grands, on arrive à d'excellents résultats pratiques. Au point de vue du réglage de la vitesse pour les moteurs et du courant pour les génératrices, on ne saurait trouver mieux et l'on arrive à une précision et une sensibilité sans égales. En effet, la constante de temps des inducteurs ne joue plus aucun rôle et l'action du régulateur est instantanée, ce qui facilite grandement le réglage. Quatre des usines génératrices de la Société générale de Force et Lumière, pour la transmission de l'énergie de Moûtiers à Lyon, sont pourvues de ce système; une autre, celle de Moûtiers, marche selon le système de réglage par les turbines.

Tous ceux qui ont visité cette installation ont été frappés par la parfaite stabilité du courant; aucune usine génératrice à potentiel constant n'arrive à un meilleur résultat et cela serait du reste inutile. Aussi, la Société générale de Force et Lumière a-t-elle conservé ce système pour ses nouvelles unités et celles-ci, fort heureusement, s'y sont parfaitement adaptées, grâce aux travaux de mon excellent ami et ancien collaborateur, M. Belli, qui a réussi à éliminer un défaut de ces machines, peu gênant tant que la puissance de ces unités ne dépasse pas 600 à 700 kw par collecteur, mais très fâcheux dès que l'on atteint et dépasse 800 kw. Je veux parler ici de la distorsion du champ inducteur par réaction de l'induit. Dans les machines puissantes, mais à faible nombre de pôles, comme c'est le cas nécessairement pour les machines à courant continu à haute tension, l'induction dans la région d'un des becs polaires atteint une valeur si élevée qu'il en résulte plusieurs défauts : sursaturation des dents du rotor, courants parasites dans les barres, tension localement trop forte entre les lames du collecteur, augmentant le danger de l'amorçage d'arc, et échauffement anormal du fer et des conducteurs. A cela s'ajoute une difficulté plus grande d'obtenir à toutes les charges une parfaite commutation.

M. Belli a construit le stator des nouvelles machines en logeant l'enroulement inducteur dans une série d'alvéoles disposées à la manière des stators des moteurs polyphasés. Il utilise la saturation des dents du stator pour limiter l'induction à une valeur raisonnable admise par avance. Le résultat de ce dispositif a été excellent. J'ai eu le plaisir de voir ces machines en service normal à 22 000 v par groupe (7 300 v par collecteur) à 500 t : mn, sans aucune trace d'étincelles. J'ai vu les mêmes machines marchant en court circuit direct, à vitesse normale et courant de régime (150 a) sans aucune étincelle; il ne s'en produirait pas davantage à 250 a, c'est-à-dire en surintensité de courant de 67 pour 100. L'échauffement en marche continue est resté notablement inférieur à l'échauffement normal admis et le rendement calculé, 94 pour 100, a été contrôlé avec soin et trouvé exact.

Il y a maintenant deux ans que ces machines assurent leur service et l'on a observé que leur tenue au collecteur, lors d'une série de mises à la terre d'une ligne défectueuse, a été excellente, meilleure même que celle d'autres machines à plus basse tension, soumises aux mêmes à-coups.

Ainsi, la preuve est faite que la tension de 7 800 v par collecteur (7 200 en marche normale moyenne) n'est pas un obstacle à la marche régulière, commerciale pourrait-on dire, des génératrices et réceptrices à haute tension.

M. Belli aurait préféré, m'a-t-il dit, construire ces dynamos pour 10 000 v par collecteur et grouper deux dynamos par bâti unitaire au lieu de trois. Mais la Société générale de Force et Lumière, pour des motifs de convenance particulière, lui a imposé trois dynamos par unité. A mon humble avis. M. Belli avait raison.

Pourquoi, peut-on me demander, préférez-vous l'emploi de machines compensées excitées séparément? Le dispositif à décalage de balais, plus simple et bien éprouvé par une longue pratique, n'est-il pas préférable?

Eh bien, quoique j'aie une prédilection pour le système à décalage, système que j'ai beaucoup travaillé et qui m'a souvent procuré de grandes satisfactions, je préfère l'excitation séparée lorsqu'il s'agit d'usines génératrices puissantes pour les raisons suivantes :

1° Réduction considérable de l'inductance des enroulements, ceci à l'avantage d'une meilleure possibilité de protection des machines contre les surtensions atmosphériques et autres ; diminution des surtensions pouvant provenir de rapides changements de régime (mise à la terre d'une ligne, etc.);

2° Stabilité et réglage automatique assurés par la machine elle-même ; désexcitation très rapide en cas de court-circuit, sans nécessité de l'intervention de régulateurs et de disjoncteurs (lors d'un d'un court-circuit en ligne, les machines excitées en série se surexcitent ; celles excitées séparément par excitatrices fortement compoundées à action différentielle se désexcitent, ce qui est plus favorable);

3° Rendement meilleur à charge réduite et possibilité de marcher à pleine excitation en cas de réduction de l'énergie hydraulique disponible, lorsque le courant doit être réduit en vue de la meilleure utilisation possible d'une énergie hydraulique variable. Nous avons déjà vu que ce point peut avoir une grande importance dans quelques cas intéressants ;

4° Possibilité de construction de machines à plus haute tension ; en effet, l'enroulement série compensateur évitant complètement la distorsion du champ inducteur, le champ reste homogène sous tout le développement des pièces polaires. Rien n'empêche alors de construire des machines de diamètre relativement grand, à faible nombre de pôles et basse fréquence alternative, parfaitement adaptées à la haute tension continue. Le seul inconvénient rencontré est le poids plus grand par kilowatt. Au point de vue de la construction, on observe, d'autre part, que le prix de la main d'œuvre par kilowatt n'augmente pas ; il tend à baisser. Au total, il y a augmentation du prix rapporté à 1 kw, mais je ne crois pas celle-ci prohibitive, surtout si nous tenons compte du fait que les usines à courant continu à haute tension économisent complètement l'usine de transformation de basse en haute tension.

Je dois ajouter cependant que, pour ce qui concerne les réceptrices, le système à décalage de balais par machines Belli reste recommandable pour la commande des alternateurs. En cas de court-circuit direct en ligne, les réceptrices série se désexcitent automatiquement par le changement du sens de courant de ligne. De plus, ce système est celui qui se prête le mieux aux manœuvres de mise en parallèle des alternateurs.

(*A suivre*).

René Thury.

La compensation hydraulique de la charge des usines génératrices thermiques

L'auteur expose dans l'article qui suit le principe de l'accumulation de l'énergie sous forme d'énergie hydraulique ; cette opération, qui peut être envisagée dans le cas d'usines génératrices thermiques non reliées à des usines hydroélectriques, a pour effet d'assurer l'uniformité de la charge de l'usine. Aux heures creuses, l'énergie est absorbée par une station de pompage qui élève l'eau dans le réservoir d'accumulation, tandis que cette eau est utilisée dans une turbine hydraulique aux heures de pointe et fournit l'énergie supplémentaire nécessaire. Sans entrer dans le détail de l'installation M. Mathivet en fait ressortir les avantages économiques.

I. **Exposé du problème** — La question de la régularisation de la charge des usines génératrices thermiques dans une période de 24 heures a fait l'objet d'un grand nombre de travaux intéressants. Il est évident qu'une première compensation de cette charge consiste le plus naturellement à coupler l'usine génératrice thermique avec une usine hydroélectrique située, soit dans les environs de l'usine génératrice thermique, soit même à plusieurs centaines de kilomètres d'elle. On s'arrangera alors pour que les pointes demandées à l'usine thermique soient fournies par l'usine hydraulique en accumulant dans le bassin de charge de cette dernière suffisamment d'eau pour que la pointe de l'usine thermique soit intégralement aplanie. On pourra ainsi arriver à obtenir pour l'usine génératrice thermique un graphique de charge presque rectangulaire et la consommation par kilowatt-heure pour un matériel de chaudières et de turbines défini sera minimum.

Mais il peut arriver que l'usine génératrice thermique ne soit pas toujours facile à relier avec l'usine hydroélectrique ; il peut arriver encore que la quantité d'eau que l'on a pu accumuler dans le bassin de charge de l'usine hydroélectrique soit insuffisante pour aplanir intégralement la pointe de l'usine thermique correspondante. On peut même imaginer que, dans un ensemble d''usines génératrices thermiques et hydrauliques conjuguées électriquement, les pointes de chacune des usines thermiques subsistent encore suffisamment pour que l'on cherche à pousser le problème plus avant et que l'on examine s'il n'est pas possible, par des artifices spéciaux, d'arriver à couper totale-

ment les pointes du diagramme de chacune des usines thermiques de l'ensemble du réseau considéré.

II. **Principe de la solution proposée.** — La Société anonyme Sulzer a étudié ce problème depuis plus de trente ans et a pu réaliser des installations auxiliaires qui ont permis de résoudre le problème considéré d'une manière suffisamment complète. Supposons que le graphique de charge d'une des usines génératrices thermiques soit conforme au schéma de la figure 1. Ce graphique est coupé en son milieu par une ligne telle que MN; cette ligne MN définit la puissance moyenne de l'usine thermique et si l'on désigne par C la consommation de combustible par kilowatt-heure, cette consommation multipliée par la surface OMN 24 définira la consommation totale de charbon pendant 24 heures ($C \times P$).

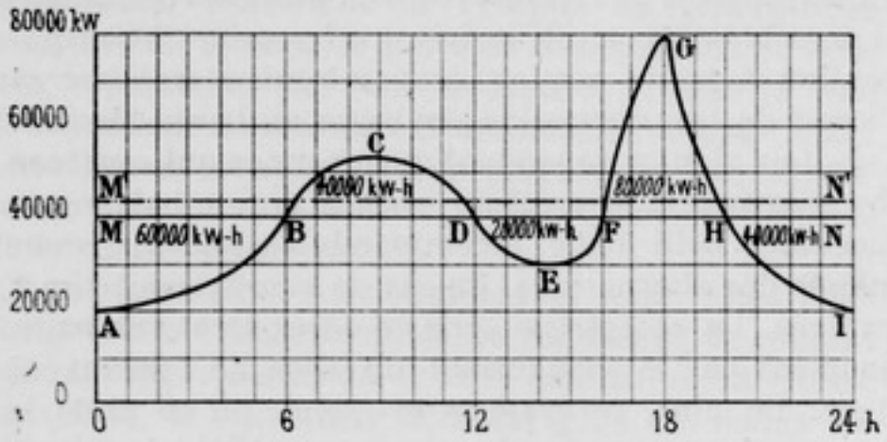


Fig. 1. — Diagramme de la répartition de la charge d'une usine génératrice dans la journée.

Supposons que, au lieu de ralentir les chaudières de l'usine thermique pendant les heures où la puissance qui lui est demandée se trouve au-dessous de MN, on alimente avec les turbogroupes de cette usine des groupes moteur-pompe électriques calculés de telle manière que la puissance totale demandée à l'usine génératrice pendant les heures creuses soit toujours égale à MN. Ces pompes pourront refouler l'eau qu'elles aspirent dans un bassin convenablement choisi et à la fin de la période considérée, nous aurons emmagasiné dans ce bassin une réserve d'eau importante.

Supposons maintenant que pendant les heures de pointe de l'usine thermique, nous fassions écouler l'eau de ce bassin dans des turbines hydrauliques commandant des alternateurs et de telle sorte que ces alternateurs fournissent exactement la puissance de pointe qui aurait été demandée aux alternateurs de l'usine thermique pendant la même période. Nous aurons alors réalisé la régularité du graphique que nous cherchons, à condition, bien entendu, que les pompes aient absorbé une puissance supérieure à la puissance des heures creuses pour que les turbines aient restitué au réseau une puissance égale à la puissance de pointe: on peut essayer de se rendre compte de l'économie qu'il est possible de réaliser en affectant à la puissance des heures creuses certaines valeurs.

III. **Etude économique de l'accumulation par groupe moteur-pompe.** — Soient P l'énergie totale, en kilowatts-heures, demandée à l'usine thermique pendant 24 heures et P_1 l'énergie totale qui va être développée lorsque la compensation hydraulique aura été réalisée. La réalisation de la compensation hydraulique n'aura pas d'autre effet que de déplacer la droite MN du graphique fondamental (fig. 1) en M'N' de telle façon que la surface OM'N' 24 soit égale à P_1, la surface OMN 24 étant égale à P.

Si on appelle m la portion de la surface rectangulaire MM'N'N évaluée en kilowatts-heures, cette portion m sera sensiblement égale à la portion de la même surface correspondant aux heures de pointe et l'on pourra écrire

$$P_1 = P + 2m.$$

Si h est la fraction de P qui correspond aux heures creuses, fraction qui est ordinairement de 0,15 en moyenne et si on admet que le rendement global de l'équilibrage hydraulique est de 0,55 (produit des deux rendements du groupe moteur-pompe et du groupe turbogénérateur) on aura

$$(Ph + m) \times 0{,}55 = Ph,$$

d'où

$$m = \frac{P \times 0{,}15 \times 0{,}45}{0{,}55} = 0{,}123\,P,$$

et

$$P_1 = P + 2m = 1{,}24\,P.$$

Si nous admettons que la consommation moyenne de l'usine en charbon était, avant l'équilibrage, de 0,800 kg de combustible par kilowatt-heure et que l'équilibrage l'a fait diminuer de 30 pour 100, cette consommation unitaire sera devenue

$$0{,}800 \times 0{,}7 = 0{,}560 \text{ kg par kilowatt-heure}$$

et en comptant la tonne à 150 fr, l'économie quotidienne, en francs, pour les combustibles sera

$$(0{,}8 \times 0{,}15 - 0{,}56 \times 1{,}24 \times 0{,}15)\,P = 0{,}016\,P,$$

d'où une économie annuelle de

$$300 \times 0{,}016\,P = 4{,}8\,P.$$

Mais à cette économie de combustible s'oppose l'amortissement de l'installation de compensation. Or, cette installation coûte en moyenne

$$A = 1\,000 \times \frac{P \times h}{n},$$

n étant le nombre moyen des heures creuses, c'est-à-dire 15, d'où

$$A = \frac{1\,000 \times 0{,}15 \times P}{15} = 10\,P.$$

Si nous comptons sur un taux d'intérêt de 5 pour 100 et un amortissement de 5 pour 100 la dépense annuelle pour ce chapitre sera

$$10 \times 0{,}10\ P = P.$$

L'économie réelle résultant de l'emploi de l'équilibrage sera donc finalement

$E = (4{,}8 - 1)\ P = 3{,}8\ P$, soit $4P$ en chiffres ronds.

Dès lors, on voit que l'économie annuelle sera

Pour une usine génératrice produisant		
250 000 kw-h	par jour	1 000 000 fr
500 000	id	2 000 000
1 000 000	id	4 000 000
5 000 000	id	20 000 000

Remarquons que nous n'avons pas tenu compte de l'économie d'entretien, qui résultera de la diminution du nombre des chaudières en service pour une même puissance moyenne de l'usine ; les chiffres que nous indiquons sont donc des minima.

IV. **Fonctionnement et application du système de compensation**. — Le schéma fondamental de la compensation, dont nous avons défini le principe, est représenté sur la figure 2. Deux bassins B et B_1 ayant été constitués à deux niveaux très différents l'un de

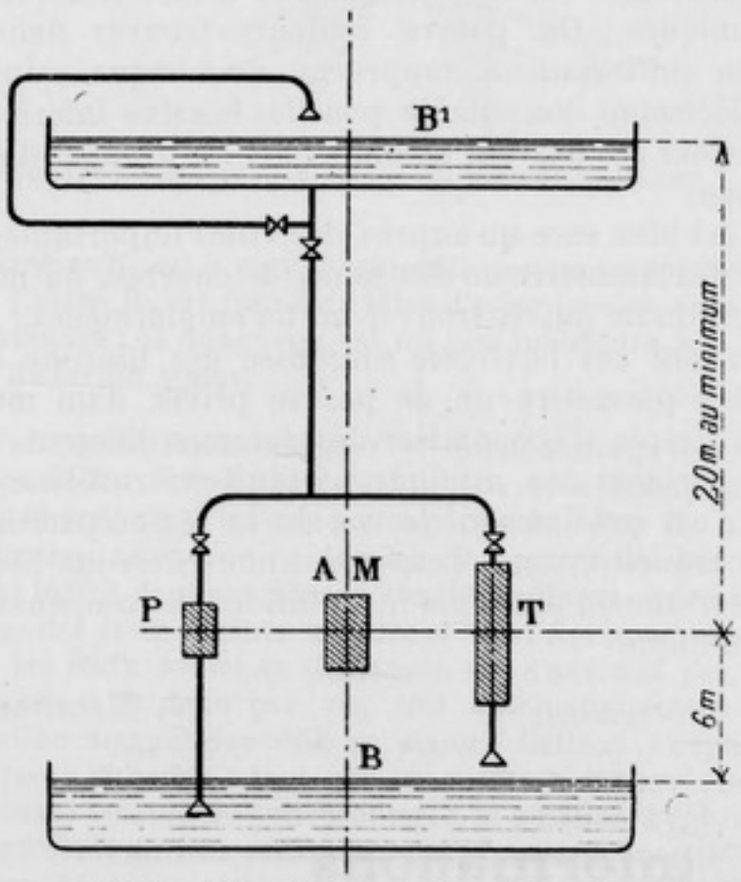


Fig. 2. — Schéma de principe de la station de compensation hydraulique de la charge d'une usine génératrice : P, pompe ; AM, machine synchrone fonctionnant en alternateur ou en moteur synchrone ; T, turbine hydraulique.

l'autre, le bassin B_1 ayant une capacité inférieure ou égale à celle du bassin B, on installera à 5 ou 6 m au-dessus du bassin B, et sur le même arbre, une pompe P, une machine synchrone A M et une turbine hydraulique T.

Pendant les heures creuses, la pompe P refoulera l'eau du bassin B dans le bassin B_1 et pendant les heures de pointes, la turbine T renverra l'eau du bassin B_1 dans le bassin B, et ceci en utilisant la même conduite que celle qui avait servi précédemment à la pompe P.

Comme le nombre des heures creuses est en général plus grand que le nombre des heures de pointes, la puissance de la turbine sera en général plus grande que la puissance de la pompe : la puissance de la machine synchrone AM devra donc correspondre à la puissance de la turbine.

Chaque fois que l'on pourra installer ce groupe mixte d'équilibrage dans la salle des machines de l'usine thermique, on le fera ; mais si ladite usine se trouve trop loin des deux bassins principaux, on pourra parfaitement installer le groupe turbo pompe de compensation ou d'équilibrage aux abords du bassin inférieur B en reliant la machine synchrone au réseau général de l'usine thermique par une ligne appropriée.

De nombreuses installations ont déjà été réalisées en Suisse et en Allemagne : Nous citerons, pour exemple, l'installation d'équilibrage hydraulique des usines génératrices de la ville de Dresde en Saxe et celle des usines rhéno-westphaliennes du bassin de la Ruhr à Herdecke.

A Dresde, la puissance des groupes d'équilibrage est de 27 000 ch pour les pompes et 30 000 ch pour les turbines ; la différence de niveau entre les deux bassins supérieur et inférieur est de 150 m (Oberwartha et Niederwartha); la capacité moyenne de ces deux bassins est de 2 000 000 m³. Il est ainsi possible de récupérer

$$\frac{2\,000\,000}{3600} \times \frac{150}{75} \times 0{,}8 \times 0{,}736 \times 10^3 = 640\,000 \text{ kw-h par jour}$$

soit

$$640\,000 \times 300 = 192\,000\,000 \text{ kw-h par an}$$

ou 200 000 000 kw-h, en chiffres ronds.

Dans la Ruhr, on a réalisé une installation plus importante encore, non loin de Herdecke : le bassin inférieur d'équilibre est constitué par un lac artificiel de 9 000 000 m³ de capacité destiné à alimenter à la fois les groupes d'équilibrage et des usines hydroélectriques de secours. La puissance des pompes d'équilibrage est de 35 000 ch, celle des turbines de 50 000 ch. Le bassin supérieur est installé sur une colline à 160 m au-dessus du lac artificiel et ce bassin supérieur a une capacité de 1 500 000 m³. On peut donc récupérer

$$\frac{1\,500\,000}{3600} \times \frac{160}{75} \times 0{,}8 \times 0{,}736 \times 10^3 = 520\,000 \text{ kw-h par jour}$$

et

$$520\,000 \times 300 = 156\,000\,000 \text{ kw-h par an}$$

ou 160 000 000 en chiffres ronds.

Puisque la quantité d'énergie récupérée représente en moyenne les 15 centièmes de l'énergie totale, celle-ci pour Dresde est de :

$$\frac{640\,000}{0,15} = 4\,250\,000 \text{ kw-h};$$

et pour Herdecke

$$\frac{520\,000}{0,15} = 3\,500\,000 \text{ kw-h}.$$

On voit tout le bénéfice que l'on peut retirer de l'adoption de cette formule d'équilibrage hydraulique.

Cette solution pourrait être envisagée en particulier aux usines génératrices qui alimentent la région parisienne et qui, par leur situation entre les plateaux qui dominent la Seine, se prêteraient à une telle application, laquelle permettrait de récupérer une quantité d'énergie dans le même temps au moins aussi importante qu'à Dresde et à Herdecke.

V. **Application à l'industrie minière ou métallurgique.** — Ici encore le problème de la compensation hydraulique des opérations de laminage ou d'extraction est très intéressant et peut se résoudre assez simplement. Le plus grand nombre des ateliers de laminage sont, en effet, installés auprès de cours d'eaux et non loin de collines et de hauts plateaux sur lesquels il sera toujours facile d'installer les bassins supérieurs alimentant les groupes d'équilibrage.

Pour les mines le problème peut se traiter de deux manières, directement ou indirectement.

Dans l'application directe, qui se fera chaque fois que l'on disposera dans une mine d'un bassin souterrain de capacité convenable, on pourra faire l'extraction du minerai ou du charbon en installant au fond de la mine une turbine hydraulique attaquant une poulie Koepe et l'eau envoyée ainsi au fond de la mine pendant la période d'extraction sera renvoyée pendant les heures complémentaires de la journée, à la surface du sol, par une pompe électrique.

Une extraction de 1 000 t par jour à 600 m demanderait une turbine de 1 000 ch, ce qui correspond à

$$\frac{1.000 \times 75}{600 \times 0,8} = 156 \text{ kg d'eau par seconde}$$

et pendant 8 heures, ou 28 800 secondes, à

$$0,156 \times 28\,800 = 4\,500 \text{ m}^3.$$

L'application indirecte se fera si l'installation d'une turbine hydraulique n'est pas possible au fond de la mine; dans ce cas, on pourra installer dans la salle habituelle des pompes d'exhaure un groupe d'équilibrage relié à l'usine génératrice de la mine et d'une puissance moyenne de 1 000 ch. Un tel groupe permettra de récupérer 5 000 à 6 000 kw-h par jour, la capacité du bassin souterrain correspondant devra être

$$Q = \frac{6\,000 \times 3\,600 \times 75}{600 \times 0,8 \times 1\,000 \times 0,736} = 4\,500 \text{ m}^3.$$

On voit que dans les deux méthodes directe ou indirecte et pour une extraction de 1 000 t à 600 m, il faudra pouvoir réaliser au fond de la mine un réservoir souterrain ou albraque essentiellement constitué par une galerie de 180 m de longueur sur 5 m de largeur et 5 m de profondeur.

Au point de vue économique, chaque puits qui pourra être équipé avec un groupe d'équilibrage ou avec une turbine hydraulique permettra de réaliser un gain annuel de

$$\frac{6\,000}{0,15} \times 4 = 160\,000 \text{ fr.}$$

VI. **Conclusion.** — Notre étude montre quel parti on peut tirer de l'installation de groupes turbopompes d'équilibrage sur les réseaux des usines génératrices thermiques. On pourra toujours trouver dans un rayon suffisamment rapproché de chaque usine un emplacement convenable pour les bassins inférieur et supérieur qui doivent accompagner ces groupes d'équilibrage.

Il est bien rare qu'auprès des villes importantes, ou près des laminoirs ou des mines de charbon ou métalliques, on ne puisse trouver un tel emplacement.

En tout cas l'extrême souplesse des liaisons électriques permettra de ne pas se priver d'un moyen aussi simple d'économiser des sommes d'argent, qui, dans certains cas, atteindront plusieurs millions par an : c'est précisément le cas de la région parisienne pour laquelle, nous l'espérons, nous verrons bientôt réaliser une ou plusieurs installations de compensation hydraulique.

J. Mathivet.

Revues, analyses et informations

Le moteur Dassenoy.

1. Introduction. — L'emploi des moteurs asynchrones soulève, comme on le sait, deux problèmes, d'ailleurs distincts, qui retiennent l'attention des sociétés de distribution d'énergie et, de ce fait, des abonnés et enfin des constructeurs : ce sont ceux du facteur de puissance et du courant de démarrage. Les solutions envisagées tant pour améliorer le facteur de puissance que pour réduire l'intensité du courant de démarrage sont pour la plupart empruntées à des inventions datant souvent de vingt ou trente ans ; tel est le cas, par exemple, pour ce qui concerne le courant de démarrage, du moteur Boucherot à double cage. Il y a, dans ce fait, fréquent dans l'histoire de la technique et de la science,

un encouragement pour les inventeurs dont les travaux ne reçoivent pas la consécration immédiate des applications espérées; cette consécration peut n'être que renvoyée dans un avenir plus ou moins lointain.

Le moteur Dassenoy, qui rentre dans la catégorie des inventions déjà anciennes, puisqu'on trouve une description dans l'« Elektrotechnische Zeitschrift » de 1911 (1), est assimilable à un moteur muni d'un embrayage centrifuge, c'est-à-dire que ce moteur peut être pris en considération au point de vue de la réduction du courant de démarrage. C'est à ce propos qu'il a fait l'objet d'une communication de M. de Pistoye dans une récente séance de la première Section du Comité d'Administration de la Société française des Electriciens (2); la description qu'en donne M. de Pistoye fut suivie de quelques remarques de M. Rieunier qui mentionna les essais faits sur ces moteurs au point de vue du courant absorbé au démarrage.

2. Description. — Le moteur Dassenoy est un moteur d'induction dont le stator est identique à celui d'un moteur ordinaire, mais dont le rotor est double. Ces deux rotors, R_1 et R_2 (fig. 1), se déplacent suivant l'axe de la machine de façon que l'un ou l'autre se trouve en face du stator. L'un

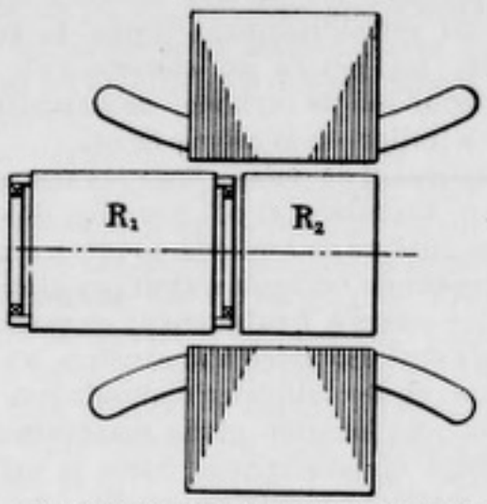


Fig. 1. — Schéma de principe du moteur Dassenoy.

de ces rotors R_1 est à cage d'écureuil, comme un rotor ordinaire, l'autre R_2 est formé de tôles d'acier isolées, sans aucun bobinage; sa longueur est un peu inférieure à la longueur du fer du stator.

3. Principe du fonctionnement. — Au démarrage les deux rotors sont fous sur l'arbre, le rotor R_2 sans bobinage est sous le stator, ainsi qu'une petite partie du rotor R_1. C'est dans l'enroulement de ce dernier que prend naissance le courant induit donnant lieu au couple suffisant pour le démarrage des deux organes mobiles et fous. Après la mise en route, les deux rotors se déplacent sur l'axe soit par une commande à la main par vis, soit automatiquement par l'attraction magnétique due au stator. Celle-ci s'explique de la façon suivante : tant que les rotors n'ont pas atteint une vitesse voisine du synchronisme, la position d'équilibre correspondant au flux maximum dans le circuit magnétique de la machine est celle du rotor R_2 en face du stator, le courant induit dans le rotor R_1 ayant pour effet de créer un flux qui s'oppose au flux inducteur et de maintenir R_1 éloigné du stator; mais lorsque la vitesse augmente, le courant induit diminue ainsi que le flux qui en résulte et si le rotor R_1 est soumis à l'action d'un ressort tendant à le placer sous le stator, l'attraction exercée par le stator sur R_2 n'étant plus importante par rapport à cette même attraction sur R_1, l'effort du ressort l'emporte et R_1 déplace R_2 qui vient sous le stator. A cet instant l'embrayage des rotors sur l'arbre se produit par friction et l'arbre et la machine à commander sont à leur tour entrainés par le moteur.

4. Avantages et inconvénients. — Comme au démarrage seule une petite partie du rotor actif, R_1, est dans le champ magnétique du stator, l'inductance du rotor est faible et le courant rotorique atteint facilement une valeur élevée assurant le démarrage. De plus, le couple maximum du moteur est limité par l'embrayage à friction; à ce propos, M. de Pistoye fait remarquer dans la note précitée que ce couple peut varier avec l'état des surfaces en contact; il relève également, sans toutefois les exagérer, les difficultés que l'on peut rencontrer dans le coulissage axial du fer du rotor sur l'arbre, si l'atmosphère est chargée de poussières. — A. C.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 14 décembre 1911, t. XXXII, p. 1275-1276.

(2) H. de Pistoye; Le moteur Dassenoy. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, janvier 1930, t. X (4e série), p. 95-99, 1500 mots, 1 figure.

La production de l'énergie de pointe au moyen de groupes Diesel-génératrice (1).

1. Généralités. — Malgré l'interconnexion des usines génératrices et le développement de certaines applications de l'électricité qui tendent à une répartition plus uniforme de la demande d'énergie, la production de l'énergie de pointe demeure un des problèmes les plus difficiles à résoudre. Afin de pouvoir faire face à ces pointes, il faut prévoir, en effet, une puissance installée bien supérieure à celle qui serait nécessaire si la demande en énergie était plus régulière, d'où augmentation du capital. Dans le cas d'usines génératrices à vapeur il faut en outre souvent maintenir à feux couverts les chaudières nécessaires si leur allumage ne peut être rapide. L'exploitation économique de ces usines est fonction de leur coefficient de capacité, c'est-à-dire du rapport de la valeur moyenne de la puissance demandée à la puissance totale installée.

2. Moyens de produire l'énergie de pointe. — Les principaux moyens permettant de produire l'énergie de pointe sont les suivants : emploi d'accumulateurs de vapeur avec turbines spéciales, accumulation hydraulique au moyen de pompes et turbines hydrauliques, batteries d'accumulateurs dans le cas de distribution à courant continu, utilisation de machines à vapeur existantes de vieux modèle, emploi de turbines à vapeur spéciales alimentées par des chaudières à vaporisation rapide et enfin emploi de génératrices entraînées par moteurs Diesel. De ces divers moyens nous ne retiendrons que le dernier qui présente les avantages suivants : démarrage rapide à froid, aucune dépense inutile de combustible et surveillance presque nulle pendant les périodes d'arrêt, rendement thermique élevé pratiquement indépendant de la puissance nominale, emmagasinage facile du combustible, possibilité de placer le ou les groupes Diesel-génératrice en dehors de l'usine produisant l'énergie de base en évitant ainsi les frais de la transmission d'énergie, déplacement plus facile que celui d'unités génératrices à vapeur en cas de nécessité.

3. Analyse des frais de production de l'énergie dans une usine mixte a vapeur et a moteur Diesel. — Malgré le déve-

(1) P.-H. Schweitzer. *Electrical World*, 21 et 28 décembre 1929, t. XCIV, p. 1213-1216 et 1269-1272, 3500 mots, 15 figures, 3 tableaux.

loppement considérable pris par le moteur Diesel en ces dernières années, l'auteur estime qu'il ne peut être question, pour le moment du moins, d'établir des usines génératrices de grande puissance, équipées uniquement de moteurs Diesel et produisant l'énergie à meilleur compte que les usines à vapeur. Mais il n'en est plus de même dans le cas d'usines mixtes où les moteurs Diesel n'interviennent que pour fournir l'énergie de pointe, et c'est ce que l'auteur montre dans une analyse du coût de la production de l'énergie. Il envisage le cas d'une usine de moyenne puissance, 20 000 kw par exemple.

Afin que son exemple ait un caractère aussi général que possible, l'auteur base son étude sur des valeurs moyennes des données correspondantes extraites de statistiques concernant des usines comparables à celle envisagée. Il détermine donc les courbes du prix de revient de l'énergie électrique produite soit dans une usine à vapeur, soit par groupes moteur Diesel et génératrice, pour plusieurs prix du combustible et en fonction du coefficient de capacité de l'installation. Ce coefficient a en effet une influence très marquée sur les frais de production de l'énergie électrique puisqu'il représente en quelque sorte le pourcentage de puissance installée uniquement en vue de faire face aux pointes. Le détail des données numériques ayant servi à établir les courbes en question est développé dans des tableaux. L'examen des courbes ainsi établies montre que, pour une usine de la puissance considérée, le prix de revient de l'énergie électrique produite par turbines à vapeur est toujours inférieur à celui obtenu avec des groupes Diesel-génératrice, étant supposé que l'usine est constituée entièrement avec l'un ou l'autre type de machines. Il paraît donc à priori paradoxal qu'il puisse y avoir avantage à un système mixte dans lequel les groupes Diesel-génératrice fournissent l'énergie de pointe. C'est cependant bien là ce que font ressortir les calculs effectués par l'auteur. — J. S.

La soudure des métaux ferreux et non ferreux par la flamme de l'hydrogène atomique (1).

1. Introduction. — La flamme de l'hydrogène atomique possède certaines caractéristiques uniques qui en font un instrument exceptionnellement utile au soudeur. En entrant dans la flamme, une portion du gaz est assujettie à passer à travers un arc électrique, le reste formant une enveloppe d'hydrogène moléculaire autour de l'arc. La chaleur intense de l'arc dissocie les deux atomes du gaz qui possèdent alors une énergie chimique équivalente à celle qui a été nécessaire pour les séparer. En se recombinant sur les surfaces à souder, les atomes libèrent leur énergie. Par conséquent, dans la flamme de l'hydrogène atomique, il n'y a pas à proprement parler de combustion, mais plutôt une transmission d'énergie calorifique d'une source jusqu'au point d'utilisation Au contact de l'air un peu de gaz brûle, mais c'est là un fait d'importance secondaire.

La flamme peut être épanouie ou rétrécie suivant la distance entre les électrodes. Ceci permet au soudeur d'amorcer, avec une flamme large, la fusion d'une section comparativement grande pour finir la soudure avec une flamme mince, sans changer la valeur du courant. Pour obtenir la chaleur maximum avec des courants de 20 à 60 A et des électrodes de 1,6 mm à 3,2 mm, les extrémités d'électrodes doivent être tenues approximativement de 4,75 mm à 6,45 mm du point de la soudure et le diamètre de la flamme, à 12 mm environ.

2. Application aux métaux a haut point de fusion. — En feuilles ou en tiges minces, le tungstène, dont le point de fusion est de 3390°C environ, peut être soudé avec un courant de l'ordre de 20 A. Le tungstène et le molybdène s'oxydent très rapidement en se refroidissant, s'ils ne sont pas protégés par un manteau d'hydrogène moléculaire. Pour avoir, après soudure, des pièces ductiles et supportant les vibrations, il est nécessaire de faire usage de baguettes à souder d'un autre métal (acier à faible teneur en carbone, nickel ou alliages de tungstène ou de molybdène).

3. Application aux métaux a bas point de fusion. — La fonte en fusion étant très fluide, de grandes précautions sont à prendre en soudant ce métal. Pour obtenir une solidification uniforme et éviter les soufflures, il faut éloigner la flamme graduellement de la plage en fusion. Comme baguettes à souder on peut utiliser du même métal ou de la fonte contenant 3,5 pour 100 de silicium et 3,5 pour 100 de carbone.

Les pièces de fonte d'épaisseurs différentes ou de formes compliquées doivent être, si possible, chauffées avant soudure. Dans de nombreux cas, en recuisant le métal, on peut supprimer les efforts internes qui produisent les fissures au refroidissement après la soudure. A ce point de vue, les aciers au chrome (13 pour 100 de chrome et 2 pour 100 de carbone) se comportent comme la fonte et sont à traiter de la même façon.

Il en est également de même pour les aciers au tungstène (18 pour 100 de tungstène et 0,6 pour 100 de carbone). Pour ces aciers, une analyse de sections soudées a montré qu'à la soudure, la teneur en carbone n'était pas diminuée. Au contraire, pour les aciers à haute teneur en carbone les pertes en carbone peuvent atteindre à la soudure, 25 à 30 pour 100.

L'aluminium et les alliages d'aluminium contenant du cuivre, du zinc, du silicium et du magnésium donnent des soudures solides et homogènes; mais il est bon de faire usage d'une matière réductrice étendue sur les surfaces à souder ou sur la baguette. Les baguettes à souder doivent contenir 3 à 4 pour 100 de silicium.

Enfin, le cuivre, le zinc, le métal monel et le nickel, peuvent être soudés sans difficulté.

La flamme de l hydrogène atomique possède des propriétés réductrices énergiques, qui permettent la réduction de la plupart des oxydes métalliques et, par conséquent, d'obtenir les métaux fondus à l'état de pureté. C'est pourquoi, dans la soudure, les parties assemblées présentent une apparence brillante.

Dans l'article sont donnés des micrographies de sections de différents métaux soudées, une description d'un poste de soudure à la flamme de l'hydrogène atomique et un schéma de l'équipement électrique.

Un tel poste de soudure comporte les parties suivantes :

a) Un ou deux transformateurs fournissant l'énergie à la tension requise par la soudure ;

b) Un panneau de commande et de contrôle avec bobine d'inductance réglable, ampèremètre, relais et boutons de mise en route et d'arrêt ;

c) Le chalumeau proprement dit,

La bobine d'inductance est montée à l'arrière du panneau de commande et se compose de deux enroulements montés en série et divisés en sections, qu'un dispositif à contacts mobiles permet d'insérer ou d'éliminer pour obtenir la variation de l'inductance de la bobine. — M. R.

(1) R.-A. Weinman. *General electric Review*, octobre 1929, t. XXXII, p. 532-537, 2 500 mots, 17 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

L'évolution des questions ouvrières et sociales pendant l'année 1929

Chaque année le Comité directeur de l'Union des Industries métallurgiques et minières, de la Construction mécanique, électrique et métallique et des Industries qui s'y rattachent présente à l'assemblée générale de cette union un rapport détaillé sur l'évolution des questions d'ordre économique et d'ordre social au cours de l'année écoulée. En raison de l'intérêt que présentent ces questions pour un grand nombre de nos lecteurs, nous reproduisons ci-dessous la partie relative aux questions ouvrières et sociales du rapport présenté à l'Assemblée générale du 18 février 1930, au nom du Comité directeur, par le secrétaire général, M. Adolphe Pichon (*).

1. Introduction. — Au point de vue social, le fait dominant est l'insuffisance de la main-d'œuvre due aux pertes de la guerre et à l'insuffisance des naissances pendant cette même période.

L'effet des pertes de la guerre s'est fait sentir dès la reprise de la vie industrielle normale. Mais c'est maintenant que commence à apparaître le déficit résultant de l'insuffisance des naissances pendant la guerre.

Le chiffre annuel des naissances en France, voisin de 750 000 avant la guerre s'est abaissé, pendant les cinq années 1915 à 1919, à une moyenne de 430 000. Il y a donc eu pour ces cinq années un déficit total de 1 600 000 naissances. Pour tenir compte du léger excédent de naissances des années 1920 et 1921 (150 000 environ), ce déficit doit être ramené à 1 450 000.

D'autre part, les tables de mortalité montrent que, sur 100 enfants nés, il en reste environ 85 à l'âge de 15 ans.

Le déficit qui existera ainsi entre ces générations lorsque celles-ci atteindront l'âge de 15 ans est donc de $1\,450\,000 \times 0{,}85$, soit environ 1 235 000 personnes.

Comme, d'après le recensement, le quart de la population est occupé dans le commerce et dans l'industrie, et comme le cinquième de ce quart l'est dans le commerce, l'insuffisance de la population industrielle et commerciale à partir de 1935, moment où les générations déficitaires seront entrées dans la vie industrielle active, serait donc du quart de 1 235 000, soit environ 310 000, dont 60 000 pour le commerce et 250 000 pour l'industrie.

Cette insuffisance se fera sentir progressivement pour atteindre son plein effet en 1935, et l'on peut considérer que jusqu'à cette date il y a chaque année un déficit annuel de 500 000 jeunes ouvriers environ, s'ajoutant à celui des années précédentes.

Il y a là une situation permanente qui doit durer à tout le moins autant que les générations dont il s'agit seront en âge de travail. Elle doit même durer plus longtemps, le déficit de ces générations devant se prolonger par un déficit semblable de mariages et de naissances s'ajoutant à une conséquence analogue résultant des pertes de la guerre. Il ne pourrait se compenser que par un relèvement sensible du taux de la natalité dont il n'y a pas d'indices.

Cette situation entraîne des conséquences dont nous ne voulons retenir que celles qui touchent le plus directement aux questions dont l'Union a la charge : augmentation de l'instabilité de la main-d'œuvre et extension du débauchage ; hausse des salaires qui augmentent plus vite que le coût de la vie et risqueraient d'amener un renchérissement exagéré et périlleux, s'ils n'étaient pas surveillés avec soin ; importance de toutes les questions se rattachant à l'introduction de la main-d'œuvre étrangère ; intérêt de toutes les mesures et institutions pouvant fixer la main-d'œuvre, et en particulier du logement ; enfin, modification profonde dans la constitution même de l'industrie pour réduire autant que possible la main-d'œuvre incorporée dans la production, et, par suite, développement de l'outillage, de l'organisation scientifique du travail, de la rationalisation et des fusions.

En présence d'une situation aussi instable, où les lois économiques risquent de jouer avec une amplitude inaccoutumée, le patronat a un intérêt évident à resserrer sa cohésion et à éviter des actions isolées qui peuvent paraître justifiées par des résultats immédiats, mais ne font en définitive que compromettre les intérêts mêmes que l'on a voulu conserver.

C'est là, au point de vue social, le caractère dominant de l'année qui vient de s'achever. Nous allons en suivre les aspects et les conséqences dans les diverses questions qui se sont soulevées au cours de cette année.

2. Salaires, coût de la vie, chômage. — La hausse du prix de la vie a persisté dans des conditions assez variables selon les régions. Mais on peut dire qu'en moyenne elle s'établit, entre le dernier trimestre 1928 et le dernier trimestre 1929, autour de 4 pour 100. On peut penser aussi que le mouvement des prix de gros aurait pu aider à la stabiliser si des mesures imprudentes ne devaient pas, en 1930, venir compromettre un équilibre qui n'est pas encore établi.

En tous cas, la hausse des salaires a été très notablement supérieure. D'après les renseignements que nous avons pu recueillir, elle paraît avoir été d'au moins 10 pour 100 et, dans plusieurs régions, sensiblement plus élevée.

En présence d'un déficit de main-d'œuvre, cette rupture

(*) Rappelons que l'an dernier des extraits du rapport présenté à l'Assemblée générale du 19 février 1929 ont été publiés dans les numéros du « Bulletin R. G. E. » des 9, 16 et 23 mars 1929, t. xxv, p. 65 B-66 B, 73 B-75 B et 81 B-82 B.

d'équilibre entre le mouvement du prix de la vie et celui des salaires est un indice préoccupant.

L'importance que les questions touchant aux salaires paraissent devoir prendre nous autorise à insister très vivement auprès de nos chambres syndicales régionales pour qu'elles veuillent bien procéder à des enquêtes périodiques sur le mouvement de ceux-ci dans leur région. Actuellement, nous sommes très insuffisamment renseignés. Ces enquêtes sont possibles puisqu'elles sont faites dans la région parisienne, dans la région lyonnaise, en Lorraine, dans les mines de fer de Meurthe-et-Moselle. D'autre part, trois de nos chambres syndicales les plus importantes, le Comité des Forges, la Chambre syndicale du Matériel de Chemins de fer, la Chambre syndicale des Entrepreneurs de Constructions métalliques, en ont entrepris cette année et les renouvelleront annuellement. Nous savons les difficultés auxquelles ces enquêtes se heurtent ; mais le choix de quelques catégories très limitées de travailleurs permet de demander et d'obtenir les renseignements nécessaires sans pénétrer en aucune façon dans la vie des entreprises.

Le chômage n'a pas existé dans nos industries. Il faut toutefois noter sur ce point le mouvement du marché du travail que relèvent les statistiques officielles de placement. Le rapport des offres aux demandes d'emploi était, au début de 1929, d'environ 225 pour 100. Il a augmenté régulièrement jusqu'à atteindre à la fin de juin le maximum de 400 pour 100. A la fin de 1929, il était redescendu au voisinage de 200 pour 100.

Cette observation, qui s'ajoute à d'autres indices, montre un certain ralentissement qui est déjà sensiblement plus accentué dans d'autres industries.

En tout cas, le déficit de main-d'œuvre enlève à l'absence de chômage la signification qu'elle aurait eue dans d'autres circonstances. Par contre, la réapparition du chômage serait l'indice d'une crise très sérieuse.

S'il n'y a pas eu dans nos industries de conflits graves, la situation n'a pas été aussi calme que l'année dernière. Dans plusieurs centres, des grèves ont éclaté. Elles ont toutes eu le même caractère et ont été fomentées sous la même influence extrémiste. Elles ont aussi marqué et c'est encore un indice de leur origine, un effort pour s'étendre à certaines catégories du personnel des cadres. Partout où la question a été traitée comme elle doit l'être dans des circonstances de cette nature, le conflit s'est terminé dans des conditions qui n'ont pas été défavorables. Il n'y en a pas moins dans l'ensemble une situation qui réclame votre attention et la nôtre.

3. Application de la législation du travail en vigueur. — 1° *Journée de huit heures.* — L'application de la loi sur la journée de huit heures donne lieu aux mêmes réclamations de la part des organisations ouvrières et des partis qui les représentent, comme si la production n'était pas suffisamment tenue en lisière et limitée par la réglementation actuellement pratiquée.

Nous avons eu de ces réclamations et des conséquences qu'elles peuvent avoir un exemple particulièrement fâcheux à propos de ce qu'on appelle la quinzaine de 96 heures. Il s'agit, on le sait, d'un usage pratiqué depuis fort longtemps dans la fonderie de diverses régions, qui n'a cessé de se montrer comme étant à la convenance des ouvriers comme des industriels et qui rentre indiscutablement dans la catégorie des régimes qui peuvent être autorisés. Sans qu'aucun fait nouveau se soit révélé, cet usage est interdit. Nous ne savons pas pourtant qu'aucun inconvénient pratique ait pu être relevé contre lui.

2° *Repos hebdomadaire dans les usines à feu continu.* — Nous craignons que ce soit une pensée analogue qui ait conduit à la revision du décret du 31 août 1910 sur le repos hebdomadaire des spécialistes dans les usines à feu continu. Les transformations apportées dans l'outillage et dans l'organisation du travail pouvaient justifier une revision de la nomenclature. Mais, au cours des discussions qui ont eu lieu sur cette affaire et où nous avons défendu de notre mieux vos intérêts, nous n'avons pas entendu une raison satisfaisante des restrictions apportées aux conditions de récupération des jours de repos, ni des sanctions pécuniaires prévues par les dispositions nouvelles. Il sera certainement pour plusieurs de nos industries l'occasion de difficultés nouvelles.

3° *Délai-congé.* — Nous avons suivi en liaison étroite avec vous la formation de la première jurisprudence si importante pour fixer la portée de la loi du 19 juillet 1928 sur le délai-congé. Bien qu'il soit un peu tôt encore pour parler des résultats définitifs, nous avons vu cette jurisprudence, guidée dès maintenant par quelques décisions de la Cour de Cassation, donner son adhésion, en ce qui concerne l'appréciation des usages, à l'interprétation que nous avons toujours considérée comme imposée par le texte, les travaux préparatoires et l'esprit de la loi.

Une seconde question demande à être surveillée d'aussi près si l'on veut éviter que le texte nouveau n'aboutisse, en ce qui concerne les dispositions relatives au renvoi abusif, à un renversement inadmissible de la preuve, mettant à la charge du patron défenseur des obligations que les principes du droit auxquels la loi n'a point entendu déroger imposent au salarié demandeur.

L'une et l'autre questions présentent un grand intérêt pratique ; elles sont aussi fort difficiles au point de vue technique. Nous vous demandons donc de nous tenir très exactement au courant des instances où elles pourraient se trouver engagées et nous serons heureux de vous donner toutes les indications que nous pourrions posséder à ce sujet.

4° *Emploi obligatoire des pensionnés de guerre.* — La procédure simplifiée que nous avions pu obtenir du Ministère du Travail pour permettre, avec le minimum de gêne pour les établissements industriels, l'application de la loi sur l'emploi obligatoire des pensionnés de guerre a fonctionné au cours de cette année sans donner lieu, semble-t-il, à de réelles difficultés. Les complications administratives qui ont été à craindre à un moment ont pu être ainsi écartées. Nous vous serions reconnaissants de nous signaler les difficultés que vous pourriez rencontrer ; nous interviendrons aussitôt auprès du Ministère du Travail où nous croyons que, sur ce point, nous pourrions être écoutés? En tout cas, nous tenons à vous rappeler que la procédure simplifiée ne dispense pas les employeurs de faire au début de chaque année les déclarations imposées par la loi. Faute de ces déclarations, ils s'exposeraient à des redevances considérables.

Mais si le résultat essentiel a pu ainsi être obtenu, les autres inconvénients et erreurs de cette législation demeurent entiers.

La fixation du pourcentage minimum a été maintenue à 10 pour 100, c'est-à-dire au maximum prévu par la loi. Nous ne pouvons sur ce point que maintenir les observations que nous présentions l'an dernier ; ce chiffre de 10 pour 100, qui est d'une légalité contestable puisque la

loi prévoit des pourcentages variables par catégorie d'industries, ne répond en aucune façon à la réalité; on chercherait vainement des chiffres correspondants de pensionnés de guerre susceptibles de travailler utilement et qui soient sans emploi. Serait-ce pour ce motif que depuis le mois de mai dernier le « Journal officiel » a cessé de publier des renseignements sur les demandes d'emploi formées par des pensionnés de guerre? Quant aux placements, ils sont redevenus sensiblement ce qu'ils étaient avant la mise en application de la loi dont l'effet parait avoir surtout été l'organisation d'une réglementation nouvelle.

Nous avons tenu à signaler de nouveau au Ministère du Travail que la loi ne serait appliquée justement et conformément à son esprit que le jour où les chefs d'entreprise seraient en état de connaitre exactement le nombre de pensionnés qu'ils emploient, même si ceux-ci n'ont pas été placés comme tels et ne se sont pas fait connaitre lors de l'embauchage. A une question écrite qui lui a d'ailleurs été posée sur ce point, le Ministère du Travail s'est borné à répondre qu'aucun texte légal ne permettait d'obliger les pensionnés déjà en place à décliner leur qualité. La seule ressource que l'Administration reconnaisse à l'employeur est, nous citons le texte, « de chercher à se renseigner par tels moyens qu'il juge à propos ».

En même temps qu'il maintenait le pourcentage de 10 pour 100, l'arrêté du 27 mai 1929 abrogeait l'article 2 de l'arrêté du 16 juillet 1925, aux termes duquel, « dans les entreprises comportant des succursales, le pourcentage fixé par l'article premier est calculé sur l'ensemble du personnel de ces entreprises ». De cette abrogation, l'Administration entend, semble-t-il, tirer cette conséquence que, dans les entreprises ayant plusieurs établissements, la proportion des pensionnés devait être évaluée séparément pour chaque établissement. Cette conclusion ne parait conforme ni à l'esprit d'une loi qui envisage dans sa réglementation l'exploitation comme une unité et la totalité du personnel que celle-ci emploie. C'est un point sur lequel nous nous sommes expliqués dans nos circulaires. Nous ne le signalons de nouveau ici que pour vous renouveler le conseil de vous tenir en règle vis-à-vis de l'une et l'autre interprétation.

A ce régime, une seule modification a été apportée : d'après la loi du 31 mars 1929, les établissements comptant plus de 50 pour 100 de main-d'œuvre féminine seront désormais en règle avec la loi en demandant, en ce qui concerne le personnel féminin, des veuves de guerre ou personnel féminin assimilé.

Les conditions d'application de la loi à l'Alsace et à la Lorraine n'ont pas encore été déterminées.

4. Lois, projets et propositions relatifs aux conditions du travail. — Si aucune loi nouvelle concernant les conditions du travail dans nos industries n'a été promulguée au cours de cette année, il faut d'abord y voir le signe du degré jusqu'où a été poussée dès maintenant la réglementation dans les industries des métaux. D'autre part, pour faire une appréciation exacte, il faut, autant que des textes promulgués, tenir compte de ceux qui sont entrés dans la voie de la réalisation législative.

1° *Tentatives obligatoires de conciliation*. — Parmi ceux-ci, le plus important, le plus grave dans ses conséquences, le plus significatif par les conditions dans lesquelles il a été adopté par la Chambre des Députés est le projet instituant des tentatives obligatoires de conciliation.

Si l'on voulait prendre les choses dans leur fond, on aurait dû reconnaitre qu'aucun projet n'est plus inutile. Il n'y a pas d'établissement où le chef d'entreprise ne cause tous les jours avec ses ouvriers sur les mille questions que pose quotidiennement l'exécution du travail. Il n'y a pas de conflit avant lequel l'employeur n'ait parlé avec ses ouvriers, si un entretien lui a été demandé (ce qui n'est pas toujours le cas), ni pendant lequel il ne les ait reçus. A supposer qu'il y ait un problème, il n'y a pas de solution plus vaine que celle qui a été choisie puisqu'elle n'oblige même pas à une tentative de conciliation avant le conflit et qu'elle permet de déclencher celui-ci brusquement et sans conversation préalable.

Si pourtant ce projet a été adopté, adopté à l'unanimité à l'exception des voix communistes, c'est donc pour d'autres raisons. On n'a point cherché à les dissimuler : organisant dans tous les conflits une procédure d'intervention des syndicats quels qu'ils soient, il donne à ceux-ci un prestige administratif que suivra, on l'espère, l'augmentation des effectifs. Le Ministre du Travail l'a affirmé avec une force singulière. Ce qui est caractéristique, c'est que presque personne n'osa contredire, quels que fussent les sentiments personnels de chacun sur les garanties que donnait à la paix sociale l'organisation syndicaliste des conflits, sur la valeur représentative et l'autorité des syndicats confédérés et surtout sur l'obligation de traiter avec les syndicats communistes comme avec les autres. Les auteurs d'amendements s'effacèrent et chacun s'empressa vers le vote. Nous ne saurions appeler assez l'attention sur le danger que constitue l'adoption de réformes sociales dans des enthousiasmes aussi inattendus, ni sur le sentiment de surprise que laissent des discussions aussi étrangères aux enseignements de l'expérience.

Ces enseignements, nous les avons, et c'est pourquoi notre sentiment ne peut varier. Il nous parait indispensable que le chef d'entreprise ait avec ses ouvriers des contacts personnels et étroits. Nous pensons que tous les moyens, qui, tout en maintenant un exact partage des responsabilités, associent les ouvriers à la vie de l'entreprise doivent être vus avec faveur, encouragés et développés. Mais sans reprendre toutes les observations que nous vous présentions l'an dernier à ce sujet, nous pensons aussi que l'organisation d'une procédure pour les entretiens qui doivent être naturels et faciles, ainsi que l'intervention des syndicats qui implique naturellement celle des syndicats communistes, ne sont point des gages de conciliation.

Nous voulons espérer que le Sénat, aujourd'hui juge de l'affaire, saura le comprendre.

2° *Réorganisation de l'Inspection du Travail*. — Au cours de la discussion du budget, le ministre du Travail a annoncé que son administration avait étudié un projet complet de refonte de l'Inspection du Travail comportant la création d'inspecteurs-adjoints. Nous n'avons aucune objection à faire à une mesure de ce genre, sous la réserve, bien entendu, que les inspecteurs-adjoints dont on envisage la création seront des fonctionnaires véritables avec les caractères, les obligations et la responsabilité que comporte la fonction publique.

3° *Délégués ouvriers à l'hygiène et à la sécurité dans les industries dangereuses et insalubres*. — Il s'agit ici d'un projet entièrement distinct du projet portant réorganisation de l'Inspection du Travail. Il a à sa base un vœu qui avait été émis par le Conseil supérieur du Travail, et qui avait pour objet exclusif d'utiliser la compétence professionnelle que peuvent avoir les ouvriers pour l'aménagement des mesures d'hygiène et de sécurité. Le rapport de la Commission du Travail en a fait tout autre chose, et lorsqu'il prétend s'ap-

puyer sur le vœu du Conseil supérieur du Travail, nous sommes obligés de dire qu'il s'agit d'un véritable détournement.

D'une part en effet, le mode de désignation est organisé pour remettre aux seuls représentants des syndicats les fonctions dont il s'agit et pour permettre à ceux-ci une intervention constante dans la vie de l'entreprise. D'autre part leurs attributions, bien loin d'être limitées, comme le prévoyait le vœu du Conseil supérieur du Travail, à la surveillance et à l'amélioration des mesures d'hygiène et de sécurité, s'étendraient jusqu'à la surveillance et à la constatation des infractions concernant le travail des enfants et des femmes, la durée du travail et le repos hebdomadaire.

Notre Commission des Questions ouvrières aux travaux de laquelle beaucoup d'entre vous veulent bien prendre une part dont nous les remercions, s'est longuement occupée de cette question. Lorsque l'affaire viendra en discussion, nous demanderons au Parlement de laisser à l'institution le caractère que voulait lui donner le vœu du Conseil supérieur du Travail, et nous lui proposerons diverses suggestions en ce sens.

4° *Congés payés.* — Les diverses commissions parlementaires ont continué à s'occuper des projets et propositions tendant à l'institution de congés payés pour les travailleurs. Nous vous avons déjà entretenus de cette question dans notre dernier rapport. Nous devons seulement vous indiquer ici combien il est singulier et inquiétant qu'aucun rapport, bien que quelques-uns d'entre eux aient pour auteur des personnalités qui ne pouvaient guère l'ignorer, n'ait cru jusqu'ici devoir faire la constatation très simple que l'institution de congés payés revenait à réduire la quantité de main-d'œuvre employée. C'est un aspect de la question qui demande à tout le moins à être examiné. Même sans parler de la charge qui en résultera pour les prix de revient, il suffit à conduire à cette conclusion qu'une mesure de cette nature s'accorde mal avec le déficit de main-d'œuvre déficit qui est le caractère dominant et la difficulté plus grave de la situation actuelle. A tout le moins eût-il été naturel de se demander si elle était opportune dans ces conditions et aussi au moment où la lourde charge des Assurances sociales viendra peser tout entière sur la production. De même, le projet, tel qu'il résulte du rapport de la Commission du Travail, comporte sur plusieurs points essentiels des dispositions plus rigoureuses que celles qui figurent dans les quelques législations étrangères qui ont admis des institutions de cet ordre. Notre production serait ainsi mise en état d'infériorité même vis-à-vis de la concurrence des pays qui ont accepté des charges de même nature. Il faudra que la Chambre des Députés soit mise dans l'obligation de prendre ses responsabilités sur ces divers points et sur les conséquences qu'ils auront pour la production nationale.

Le Parlement a été en outre saisi de deux projets : l'un sur la remise obligatoire de bulletins de paye lors du paiement des salaires, l'autre sur la réorganisation de la mise en demeure, en ce qui concerne l'application de la réglementation en matière d'hygiène et de sécurité. Ces deux projets ont pour objet de donner suite à des vœux sur lesquels un accord s'était fait au Conseil supérieur du Travail. Ils respectent les modalités prudentes que la délégation patronale, et en particulier vos représentants au sein de celle-ci, ont su y faire introduire.

Mais nous tenons à appeler votre attention sur un projet et une proposition de loi tendant à modifier les attributions et la composition des Commissions départementales du Travail. Il s'agit, vous le savez, de commissions instituées dans chaque département par les conseils généraux. A l'origine et d'après le Code du Travail, elles devaient s'occuper de l'exécution des dispositions concernant le travail des femmes et des enfants. En fait, elles ont souvent étendu leurs délibérations à toutes les dispositions concernant le travail dans les établissements industriels et commerciaux. Depuis quelques années, elles tiennent un congrès dont le caractère s'accentue et qui n'est pas sans influence sur l'évolution des questions se rattachant à la réglementation du travail. Nous suivrons donc avec attention la préparation et la discussion des projets dont il s'agit. Mais en même temps il y a intérêt grandissant à ce que vous vouliez bien veiller de près à la désignation des représentants patronaux appelés à faire partie des commissions dont il s'agit. Parmi les organisations consultatives en la matière, il semble que ces commissions tendent à faire figure de conseils du premier degré. Les chambres syndicales ne doivent se désintéresser ni de leur composition, ni de leurs délibérations.

5° *Allocations familiales.* — La Commission des Allocations familiales nommée par le ministre du Travail, et dont fait partie votre délégué général, a préparé un projet de loi généralisant cette institution, mais lui maintenant aussi la souplesse nécessaire pour pouvoir s'adapter aux diverses situations qui peuvent se rencontrer. Le projet a été déposé. Il faut souhaiter que le Parlement sache éviter les surenchères qui retarderaient et compromettraient son adoption en même temps qu'elles en déformeraient l'esprit.

6° *Accidents du travail et maladies professionnelles.* — Dans le cours de l'année, le Sénat sera sans doute appelé à examiner le projet modifiant la législation des accidents du travail. Nous souhaitons qu'il veuille apporter les modérations nécessaires dans les exagérations du texte adopté par la Chambre.

Dès avant cette réforme, deux lois récentes ont augmenté sensiblement les chargee des entreprises. Les charges supplémentaires résultant de la loi du 15 août dernier qui a remanié le régime des allocations temporaires, ne sont pas inférieures à 110 millions de francs. D'autre part, à la fin de l'année, la Chambre des Députés a voté un projet organisant la rééducation des mutilés du travail aux frais d'un fonds spécial de garantie alimenté par les employeurs.

Par suite des aggravations incessantes apportées à la législation des accidents, les charges imposées à la production de ce chef ont dès maintenant augmenté d'une manière considérable. Le coût total des accidents du travail en France (primes et réparations directes) a été en 1929 de 2 150 millions de francs environ, alors qu'il n'était que de 216 millions de francs en 1915. En ramenant ce chiffre à la valeur or du franc d'avant guerre, la dépense actuelle est de 439 millions de francs environ, soit une augmentation de plus du double (103,2 pour 100).

Au cours de cette année, les questions relatives aux maladies professionnelles n'ont pas cessé d'être au premier plan. Il y a là pour nous un avertissement.

En ce qui concerne l'extension des tableaux des maladies professionnelles, le texte définitivement soumis à la Chambre et adopté par elle, a tenu compte dans une large mesure des observations que nous avons faites. Nous demanderons au Sénat diverses modifications pour mettre certains textes en harmonie avec la technique industrielle, notamment en ce qui concerne la production et la fabrication du benzol.

A la réunion de la Commission internationale des Maladies professionnelles qui a eu lieu à Lyon du 3 au 6 avril, il a été possible d'écarter une proposition tendant à substi-

tuer une définition générale fort dangereuse à l'énumération des maladies professionnelles. D'autre part, la discussion a mis en relief le caractère mal délimité des maladies pulmonaires causées par les poussières et en particulier de la silicose.

Un décret du 16 novembre dernier n'en a pas moins rendu obligatoire la déclaration de ces maladies. Nous vous avons aussitôt signalé qu'il convenait, pour éviter une extension injustifiée de surveiller de près les conditions dans lesquelles ces diagnostics seraient établis. Nous serons amenés à revenir auprès de vous sur l'intérêt que présente à ce point de vue comme à d'autres, l'organisation du service médical dans les entreprises.

Le Service de Prévention et la Commission spéciale de l'Union ont continué avec la plus grande activité leurs travaux auxquels beaucoup d'entre vous ont bien voulu s'associer par une collaboration personnelle et par l'abondante correspondance que nous échangeons avec vous :

— Publication dans la Revue d'une importante documentation française et étrangère, pour laquelle nous vous serions reconnaissants de nous signaler les dispositifs de sécurité qui vous donnent satisfaction.

— Mesures de propagande diverses : affiches, calendriers de sécurité, brochures à l'usage des ouvriers nouvellement embauchés, films, l'un d'une portée générale, l'autre relatif aux accidents provenant de la soudure autogène.

— Enfin et surtout organisation de statistiques (fiche-type, états trimestriels, états semestriels). Les premiers relevés que vous nous avez adressés, bien que s'appliquant à une période passée et antérieure à l'usage de ces statistiques, portent sur un nombre d'ouvriers dépassant 130 000. Par la centralisation qui est ainsi assurée à l'Union, nous espérons que, dans quelques mois, nos industries auront une documentation essentielle qui n'existe pas ailleurs en France.

Beaucoup d'entre vous ont assisté à nos réunions des 28 et 29 octobre dernier qui se sont terminées par une visite au Creusot ; ceux qui l'ont faite gardent le souvenir de son intérêt et de l'hospitalité qu'ils ont reçue. Les communications faites, les discussions qui ont suivi, ont fait apparaître entre autres conclusions l'intérêt de confier, dans les usines d'une certaine importance, les questions de sécurité à une personne ou à un organisme spécialement désigné à cet effet. Elles ont aussi montré que la sécurité est autant une question d'éducation et de direction, que d'aménagement de l'outillage.

5. Conseil supérieur du Travail. — Les questions examinées par la Commission permanente du Conseil supérieur du Travail au cours de l'année 1929 et par le Conseil supérieur lui-même, en session plénière au mois de décembre dernier, ont été les suivantes :

Affichage des lois ouvrières ; législation de l'apprentissage ; réglementation des ateliers familiaux ; hygiène des logements mis par les employeurs à la disposition de leurs ouvriers ou employés.

Des vœux qui ont été émis, le plus important est celui qui concerne l'apprentissage. Il en sera parlé dans la partie de ce rapport qui a trait à cette question.

En ce qui concerne l'affichage des lois ouvrières, la confusion résultant des obligations créées par la réglementation actuelle était telle que l'accord s'est fait sans difficulté sur une simplification que l'Union avait demandée au cours de l'enquête. Il n'y aura plus en principe d'affichage intégral sauf dans les cas où celui-ci serait prescrit par une disposition spéciale. Il serait remplacé par des affiches aussi courtes que possible placées dans les ateliers, chantiers et magasins.

Le même accord ne s'est point réalisé sur la question de la réglementation des ateliers familiaux qui n'intéresse d'ailleurs qu'un petit nombre de nos industries. Dans sa réponse au cours de l'enquête, l'Union s'était très nettement prononcée pour le maintien de la liberté actuelle. La Commission permanente émit un avis dans le même sens ; mais elle ne fut pas suivie par le Conseil supérieur qui a adopté en faveur de la réglementation un vœu sur lequel la délégation patronale et la délégation ouvrière se sont nettement séparées.

Il en a été de même pour l'application des mesures d'hygiène prévues par le Code du Travail aux logements mis par les employeurs à la disposition de leur personnel. Bien que nous n'ayons rien à redouter d'un contrôle, l'Union a insisté avec beaucoup de force sur ce qu'avait d'illégal la prétention de l'Administration de considérer les locaux dont il s'agit comme des dépendances des établissements industriels, sur ce qu'il y aurait d'injuste et de déplaisant à prévoir un régime spécial pour des locaux qui sont des habitations plus confortables et plus saines que les autres (l'Administration l'a d'ailleurs reconnu), et sur les dangers qui résulteraient de difficultés administratives nouvelles pour le développement de la construction d'habitations ouvrières. Si la majorité du Conseil supérieur du Travail a cru devoir passer outre, les délégations patronale et ouvrière se sont, ici aussi, nettement séparées. Il nous est difficile de penser que cette majorité n'ait obéi qu'à des considérations techniques. Comme nous le disions dans notre lettre du 22 juin 1929, « nous ne pouvons arriver à comprendre pourquoi les logements mis à la disposition des ouvriers seraient soumis à une réglementation différente des locaux où ceux-ci habiteraient s'ils avaient voulu se loger ailleurs ».

En ouvrant la session plénière, le ministre a indiqué les trois questions qui feraient en 1930 l'objet des délibérations de la Commission permanente et du Conseil supérieur.

De ces trois questions, deux n'intéressent guère nos industries.

Situation des gérants des sociétés anonymes à succursales multiples.

Responsabilité des personnes ou collectivités qui mettent à la disposition des employeurs des locaux spécialement aménagés pour l'exercice d'une industrie et des installations de force motrice ou autres.

Mais la troisième présente un intérêt général. Il s'agirait de savoir s'il ne conviendrait pas de faire une obligation pour tout employeur qui crée ou développe une industrie ayant une importance à déterminer, d'apporter sa contribution au logement de la main-d'œuvre à occuper. Cette question touche à un des problèmes qui préoccupent le plus vivement les industriels et l'Union.

(*A suivre*).

Assemblées générales

Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 4 JUILLET 1929.

D'après le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 60 millions de francs et dont le siège social est à Montrouge (Seine), 12, place des Etats-Unis, les résultats de l'exercice 1928-1929 finissant le 31 mars 1929 donnent toute satisfaction.

Les succursales françaises ont toutes bénéficié, avec le siège social, d'une plus grande activité, et contribué de façon importante aux résultats de l'exercice. Dans les établissements à l'étranger, la situation se présente en amélioration sur l'année précédente, les circonstances locales ayant été, en général, plus favorables. En vue de s'adapter de plus en plus aux exigences particulières à chaque pays, il a été créé des agences de vente dans les centres étrangers où la société n'était pas directement représentée. Des résultats encourageants ont déjà été obtenus, malgré la concurrence qui se manifeste dans le domaine international d'une façon toujours plus vive.

A Montrouge, le conseil d'administration se propose de poursuivre l'utilisation de la bande de terrain mitoyen du bâtiment des bureaux, qui borde la place des Etats-Unis, afin de réaliser l'extension indispensable des locaux affectés aux services administratifs et commerciaux. Il projette, d'autre part, de libérer les terrains de l'usine d'un certain nombre de services accessoires, tels que restaurants, réfectoires, garage, et de les rétablir sur un terrain en îlot que la société possède avenue Verdier.

A Marquise, les ateliers de fonderie, qui travaillent presque exclusivement pour les branches gaz, eau et électricité, étaient devenus insuffisants pour assurer l'exécution de nos commandes, et l'on a dû procéder à des agrandissements et à la modernisation de certaines installations. Ces travaux, qui entraîneront une dépense d'environ 2 500 000 fr, auront comme conséquence en même temps qu'une augmentation de rendement, une production plus économique.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 45 534 282,32 fr; il comprend : loyers des succursales et divers, 1 962 517,10 fr; revenus du portefeuille, participations et intérêts divers, 13 531 421,73 fr; bénéfices du siège social et des succursales, 30 040 343,49 fr. Au débit figurent : frais généraux, 2 352 221,34 fr; accidents du travail, 182 329,89 fr; coupons d'obligations, 1 695 960 fr. Le solde bénéficiaire est donc de 41 303 771,09 fr.

Il en est déduit : pour amortissement de 650 obligations à 4 pour 100, 325 000 fr; pour amortissement de 1 778 obligations à 6 pour 100, 889 000 fr; pour amortissements divers (siège social et succursales) 3 257 751,12 fr; pour provision pour les assurances sociales, 5 000 000 fr; soit, au total, 9 471 751,12 fr.

Le reste, soit 31 832 019,97 fr, augmenté du reliquat de l'exercice précédent, de 6 969 493,17 fr, est réparti comme il suit : intérêt à 5 pour 100 du capital, 3 000 000 fr; intérêt à 5 pour 100 de la réserve spéciale (primes d'émission), 2 990 000 fr; au conseil d'administration, 2 584 201,99 fr; dividende supplémentaire aux actions, 21 050 000 fr; report à nouveau, 9 177 311,15 fr.

Le dividende brut se trouve ainsi fixé à 65 fr par action O et à 13 fr par action P.

Au bilan, les terrains, immeubles et constructions sont en augmentation de 347 179,77 fr par rapport à l'exercice précédent (1); cette augmentation provient de compléments de constructions dans les succursales, notamment à Dordrecht. Les disponibilités (caisse, effets à recevoir, banquiers) s'élèvent à 92 438 386,35 fr, contre 74 466 600.92 fr en 1928. Le portefeuille est en augmentation de 565 584,42 fr. Au passif, l'ensemble des réserves s'élève à 108 027 282,12 fr.

BILAN AU 31 MARS 1929.

Actif.

	fr
Fonds de commerce	1 »
Succursale de Vaugirard	1 162 756,99
Usines de Montrouge	27 011 974,33
Succursales, France et étranger	20 309 334,93
Matériel industriel	5 457 288,64
Mobilier industriel	1 »
Marchandises en magasin	53 784 257,83
Caisse, effets à recevoir, banquiers	92 438 386,35
Débiteurs divers	47 042 190,08
Comptes courants des succursales de l'étranger	30 514 470,80
Travaux et fournitures en cours	7 126 786,22
Impôts sur titres	3 100 406,98
Titres en portefeuille	33 740 918,72
Obligations à amortir	1 214 000 »
	322 902 773,87

Passif.

	fr
Capital-actions	60 000 000 »
Obligations à 4 pour 100 (9 803 obligations à amortir)	4 901 500 »
Obligations à 4 pour 100 amorties (10 118 obligations amorties)	5 059 000 »
Obligations à 6 pour 100 (50 542 obligations à amortir)	25 271 000 »
Obligations à 6 pour 100 amorties (9 458 obligations amorties)	4 729 000 »
Réserve légale	6 000 000 »
Fonds de prévoyance	12 000 000 »
Réserve spéciale (primes sur les augmentations de capital)	59 800 000 »
Réserve pour accidents du travail	4 000 000 »
Réserves générales	26 227 282,12
Créditeurs divers	55 516 884,53
Avances sur travaux en cours	8 389 676,76
Caisse de prévoyance (secours, maladies, pensions, etc.)	366 586,16
Coupons à payer et obligations à rembourser	2 368 580,04
Reliquat des bénéfices de l'exercice 1927-1928	6 969 493,17
Bénéfices de l'exercice 1928-1929	41 303 771,09
	322 902 773,87

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 957-958.

SECTION DE LÉGISLATION

Les frais d'une émission d'actions avec prime sont déductibles des bénéfices de l'exercice pour arriver au bénéfice taxable

(Arrêt du Conseil d'État du 20 décembre 1929)

Les sociétés de gaz et d'électricité augmentent trop souvent leur capital en émettant des actions avec de superbes primes pour que l'arrêt du Conseil d'Etat récemment rendu, qui tranche souverainement à l'encontre de la thèse de l'Administration une question fiscale, ne soit pas considéré par elles comme vraiment intéressant en pratique.

I. **Origines du procès.** — Une société prospère augmente son capital : il est naturel qu'elle ne pratique pas cette opération sans demander aux actionnaires nouveaux une prime, c'est-à-dire qu'elle fasse verser à ceux qui concourent à l'œuvre nouvelle une forte majoration par rapport à la valeur initiale du titre. Cet usage si répandu aujourd'hui s'explique par la nécessité de maintenir l'égalité entre les anciennes et nouvelles actions : les primes représentent les réserves apparentes ou occultes de la société, et la plus-value de l'actif social depuis l'origine ; grâce à la prime, il devient impossible aux actionnaires nouveaux de venir prendre gratuitement leur part de ce qui était, en toute justice, l'apanage des actionnaires de la première heure. La pratique constante est de verser cette prime à la réserve ; mais sa véritable nature au point de vue juridique a été discutée. Dans une opinion aujourd'hui abandonnée elle s'incorporerait au capital, et ne serait pas distribuable ; pour d'autres (1) elle serait un bénéfice ; une troisième opinion, la plus répandue, la qualifie de « droit d'entrée » et la considère comme un apport supplémentaire qui ne serait, ni un capital, ni un bénéfice : car il est difficile en effet de la considérer comme un capital, qui est déterminé par la valeur nominale des actions, ou comme un bénéfice, qui est le résultat de l'exploitation d'une année.

Dans les temps heureux où l'impôt sur les bénéfices annuellement faits n'existait pas, les sociétés prenaient sur le montant de la prime les sommes nécessaires pour faire face aux frais d'émission et elles inscrivaient le solde aux réserves, personne n'ayant à critiquer une pareille méthode.

Mais du jour où il a fallu tenir compte des bénéfices taxables chaque année, le problème devint différent.

Une augmentation de capital dans le cours d'un exercice est une charge de cet exercice, les frais souvent très élevés qu'elle occasionne doivent être inscrits aux frais généraux, si l'on veut déterminer exactement le bénéfice imposable.

Mais on comprend combien il est tentant, pour le fisc, de soutenir le raisonnement suivant : l'émission du capital nouveau a exigé des dépenses importantes ; c'est un poids qui pèse sur cette émission qui ne peut donc être inscrite aux réserves qu'après défalcation de sa charge de frais. Le bénéfice de l'exercice ne sera donc pas dégrevé de ce chef et il restera taxable en totalité.

C'est ce qui a été soutenu par l'Administration des Contributions directes dans l'affaire de la Société de X., dans des circonstances extrêmement intéressantes et présentant cette particularité que, mal renseignée, la société considérée avait tout d'abord, suivant en cela les manuels les plus connus, commencé par opérer conformément aux prétentions du fisc. Elle se ravisa bientôt, et, d'après le principe qu'erreur ne fait pas compte, elle porta intégralement aux réserves le montant total de sa prime et demanda la fixation du bénéfice imposable, en retranchant les frais de l'émission.

Quels sont les systèmes contre lesquels elle se heurta ?

Il est un peu cruel, à l'encontre de l'Administration d'insister... Le Conseil d'Etat se borne à constater que la Direction des Contributions avait commencé par ne pas répondre à l'argumentation de la société et que

(1) Houpin (t. I, n° 519), qui donne les trois opinions, se range à la troisième. Pic (*Sociétés commerciales*, n° 1 413) agit de même : il cite deux arrêts de cassation, l'un du 19 novembre 1906, affaire Société havraise d'Energie électrique (*Dalloz*, 1907, t. I, p. 353), qui déclare que le paiement des parts de fondateur au moyen du montant de la prime n'est pas une distribution de bénéfices ; l'autre sur le même sujet est du 7 novembre 1910 (*Dalloz*, 1911, t. I, p. 145. Compagnie générale des Laits purs contre Enregistrement).

son rapport contenait un grand nombre d'idées, mais toutes étrangères à l'objet en discussion. C'est sur ce rapport que le Conseil de Préfecture avait jugé un peu sommairement...

Le ministre des Finances avait conduit sa discussion d'une façon moins oblique, mais tout aussi incomplète. Pour lui deux systèmes étaient acceptables : ou bien la prime constituait, dans son entier, un bénéfice; dans ce cas, la société était irrecevable à se plaindre, car elle avait bénéficié d'une erreur de l'Administration qui aurait dû comprendre la différence entre la prime et le montant des frais d'émission; ou bien la prime était une augmentation de capital, il était de toute justice que cette augmentation supportât seule cette part de frais dont elle était la cause juridique.

Quant au troisième système, il n'en était rien dit. Et c'est celui que le Conseil d'Etat a admis : schématiquement résumé, l'arrêt dont on trouvera ci-dessous le texte revient à dire ce qui suit.

Pour avoir 225000 fr de prime, la société a engagé 135300 fr de frais : ces frais, payés dans l'année, doivent venir en déduction des bénéfices sociaux dans le cours de l'exercice dont ils sont une charge. Quant à la prime, elle constitue un versement accompli par les associés eux-mèmes, ils sont indépendants du bénéfice.

Donc, la somme taxée de 518769 fr sera diminuée de 135300 fr qui a été indûment comprise dans le montant taxable, et le bénéfice taxé sera représenté par la différence entre 518769 et 135300 fr soit 383469 fr. La thèse enseignée dans la nouvelle édition du « Répertoire fiscal » de Maguéro (voir Bénéfices commerciaux n° 114) est donc acceptée par le Conseil d'Etat (1).

II. **Texte de l'arrêt.** — Vu les pièces produites et jointes au dossier; vu la loi du 31 juillet 1917 modifiée par les lois subséquentes;

Ouï M. Pierre Tissier, auditeur en son rapport, ouï Me Brugnon, avocat de la société, en ses observations, ouï M. Lagrange, auditeur, commissaire adjoint du Gouvernement en ses conclusions :

En la forme :

Considérant que le Conseil de Préfecture s'est référé uniquement au rapport du directeur des Contributions directes lequel ne faisait aucune allusion aux moyens soulevés par la société réclamante; que sa décision doit, par suite, être regardée comme insuffisamment motivée et être annulée pour vice de forme : considérant que l'affaire étant en état peut y être statué au fond;

Au fond :

Considérant qu'il résulte de l'instruction que la Société anonyme de X a procédé en 1924 à l'augmentation de son capital; qu'elle a, de ce fait, perçu des primes d'émission dont le montant s'est élevé à 225000 fr, qu'elle a, par ailleurs, eu à supporter des frais s'élevant à 135300 fr; considérant, d'une part, que les frais d'augmentation de capital constituent une charge sociale et doivent venir en déduction des bénéfices sociaux, d'autre part, que la prime d'émission représente la somme exigée des souscripteurs en sus du montant nominal de l'action, et en représentation de la plus-value déjà acquise par les titres antérieurement émis par la société, pour devenir associé, participer avec et comme les anciennes actions à la répartition du bénéfice et de l'actif social; qu'ainsi la prime a uniquement sa source dans un versement directement effectué par les associés eux-mèmes; qu'elle ne saurait dès lors être comprise dans les bénéfices imposables et que le ministre des Finances n'est pas fondé à demander que soit imputé sur son montant, celui des frais d'augmentation du capital.

Considérant enfin, que la portion non contestée devant le Conseil d'Etat des bénéfices nets de la société s'élevant à 518769 fr, il résulte de ce qui précède que le montant des bénéfices imposables réalisés en 1924 doit être taxé à 383469 fr.

Décide :

Article premier. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture interdépartemental siégeant à Z, en date du 3 mai 1927, est annulé.

Art. 2. — Il est accordé décharge à la Société anonyme de X, de la différence entre le montant des droits auxquels elle a été assujettie en 1925 au titre de l'impôt cédulaire sur les bénéfices industriels et commerciaux et de celui des droits résultant de l'application du taux dudit impôt à un bénéfice net de 383469 fr;

Art. 3. — Les frais de timbre exposés par la société requérante tant devant le Conseil de Préfecture que devant le Conseil d'Etat et s'élevant à 30 fr, lui seront remboursés.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

(1) L'auteur cité s'exprime ainsi : Les frais d'une émission d'actions doivent être admis en déduction pour l'établissement de l'impôt. Toutefois, lorsque l'émission a eu lieu avec primes, l'Administration considère que les frais d'émission grèvent uniquement le produit des primes. Comme ce produit n'est pas compris dans les éléments du bénéfice brut en vue de l'impôt, les frais dont il est grevé doivent dès lors être distraits des dépenses déductibles pour l'évaluation du bénéfice net. Cette opinion nous paraît contestable, les frais de l'émission du capital afférents au capital nominal des actions sont de l'aveu unanime, déductibles du bénéfice brut bien que ce capital ne soit pas compris dans ce bénéfice : il doit en être de même à notre avis de la fraction des frais afférente aux primes que l'Administration des Contributions directes ne considère pas plus comme un bénéfice que le capital lui-même; la Cour de Cassation au contraire range ces primes parmi les bénéfices sociaux. (Requête, 21 janvier 1920, Instruction Enregistrement 3670-4; R.-E. 7082.)

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 12. — 22 MARS 1930.

Chronique. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation, p. 433. — Distinction honorifique : Nomination de M. PARÉ au grade de chevalier de la Légion d'honneur, p. 433. — Bibliographie : Note sur les connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau, par M.-D. SOCHACZEWER, p. 433; Le système de télégraphie Baudot et ses applications, par P. MERCY, p. 434.

Section scientifique et technique. — L'œuvre de M. Louis de Broglie, par A. DAUVILLIER, p. 435. — Les ondes électromagnétiques dues au changement de l'impédance sur les lignes de transmission d'énergie, par A.-K. KOTELNIKOFF, p. 442. — Revues, analyses et informations : La concentration des solutions en ions hydrogène : le P_H des solutions, p. 445; Rayonnement ultraviolet du soleil et du tungstène incandescent, p. 448.

Section industrielle. — Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu, par A. DELLA RICCIA, p. 449; La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension (*suite et fin*), par René THURY, p. 459. — Revues, analyses et informations : Etude du fonctionnement des bobines d'inductance sur les lignes de distribution d'énergie à l'aide de l'oscillographe, p. 463; Une méthode d'étalonnage des transformateurs de courant, p. 464.

Section économique et financière. — L'évolution des questions ouvrières et sociales pendant l'année 1929 (*suite et fin*), p. 465. — Assemblées générales : Compagnie électrique de la Loire et du Centre, p. 470; Société artésienne de Force et Lumière, p. 472.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation. — Ces projets, indexés CNM 99 et CNM 112, ont respectivement pour objet les *Supports d'outils pour tours et autres machines* et les *Diamètres normaux*.

Le premier donne les dimensions principales des supports d'outils destinés à recevoir les outils méplats normaux de la norme CNM 251 et indique la position de ceux-ci, neufs ou usés, par rapport à l'axe du tour.

Le deuxième est une norme d'ensemble destinée à servir de guide pour toutes les normalisations futures. Il concerne les dimensions (transversales aussi bien que diamétrales) de toutes les pièces destinées à s'ajuster les unes dans les autres et tend à réduire à un nombre aussi petit que possible les dimensions nominales des calibres à limites à approvisionner pour la vérification de ces pièces, ainsi que l'outillage nécessaire à leur fabrication.

Cette norme étant de nature à rendre les plus grands services tant dans la normalisation d'ensemble que comme guide directeur dans les diverses unifications propres à chaque usine, en évitant dans la mesure du possible tout gaspillage d'outils et de calibres, le Comité de Normalisation attire tout particulièrement l'attention sur le projet présenté et les considérations qui l'accompagnent.

Toutes objections à ces deux projets (dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande, pendant la durée de l'enquête) devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 30 avril 1930, date de clôture de l'enquête publique.

Distinction honorifique : Nomination de M. Paré au grade de chevalier de la Légion d'honneur. — Parmi les récentes nominations dans l'Ordre national de la Légion d'honneur faites au titre du Ministère des Travaux publics, nous relevons avec plaisir celle de M. M. Paré, membre du conseil d'administration de notre société.

Le décret du 11 mars 1930, inséré au « Journal officiel » du 13 mars porte la mention suivante :

PARÉ (Marius-Jean-Baptiste-Marcel), directeur général adjoint de la Société saint-quentinoise d'Eclairage et de Chauffage; 42 ans de pratique professionnelle et de services militaires.

Bibliographie : Note sur les connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau, par M.-D. SOCHACZEWER (1). — Les nombreux diagrammes et tables des propriétés de la vapeur d'eau, utilisés dans la pratique courante de la technique diffèrent parfois sensiblement les uns des autres. Il n'existe pas dans la littérature technique une étude compa-

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm. de 103 pages, avec 32 figures dans le texte, extrait des *Annales des Mines*, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e).

rative complète des connaissances actuelles des propriétés de la vapeur d'eau. L'auteur du présent ouvrage a voulu combler cette lacune et décrire les bases expérimentales des diagrammes et des tables de vapeur en usage, les comparer entre eux et en déduire quels sont ceux qui présentent le plus de garanties au point de vue de l'exactitude (1).

A cet égard, l'auteur a pris en considération les travaux récents et n'utilise les travaux anciens qu'à titre documentaire ou historique.

Après avoir rapidement rappelé les travaux de Regnault l'auteur donne l'analyse et les résultats des travaux américains.

En juin 1921, un groupe de savants et d'ingénieurs, réunis à Cambridge, Massachussetts, a décidé d'entreprendre une série de recherches sur les propriétés de la vapeur d'eau. L'Association des ingénieurs mécaniciens fut chargée d'élaborer le programme et de réunir les fonds nécessaires. Le travail fut réparti entre l'Université Harvard, l'Institut technologique de Massachussetts et le Bureau of Standards des Etats-Unis. On étudia l'effet Joule-Thomson, la relation entre la pression, la température et le volume de la vapeur surchauffée à haute pression jusqu'aux températures les plus élevées et enfin on détermina la chaleur spétifique de l'eau, l'unité de chaleur et son équivalent mécanique.

L'auteur analyse ensuite les travaux de Knoblauch et de Callendar.

Knoblauch et ses collaborateurs poursuivent depuis une vingtaine d'années leurs travaux sur la vapeur d'eau au laboratoire de physique technique de l'Ecole supérieure technique de Munich. Leur méthode comporte essentiellement la détermination expérimentale de la chaleur spécifique à pression constante et l'utilisation de la valeur obtenue pour l'établissement de l'équation d'état de la vapeur. Ces travaux portent surtout sur la vapeur surchauffée.

Les travaux de Callendar sont théoriques et expérimentaux. Ses travaux d'expérimentation, du moins ceux qui ont été décrits d'une manière complète, sont de quatre espèces : détermination de l'effet Joule-Thomson; détermination de la chaleur spécifique à la pression atmosphérique; vérification de l'exposant de la courbe de détente adiabatique; détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ensuite l'auteur passe en revue les différents travaux d'interprétation. Citons le diagramme de Mollier, les tables de Schüle, l'interprétation des travaux de Knoblauch, par Eichelberg et enfin les diagrammes de Stodola.

L'auteur compare les théories des recherches expérimentales décrites, ainsi que les tables et les diagrammes élaborés par chaque auteur.

Cette étude le conduit aux conclusions suivantes : *a*) Les tables et les diagrammes de vapeur, en usage courant, sont basés sur des études expérimentales, mais leur majeure partie constitue une extrapolation fortement poussée des relevés expérimentaux; *b*) il n'y a pas de différence sensible jusqu'à 30 kg : cm² et 350°C environ, entre les valeurs des grandeurs caractéristiques de la vapeur d'eau données par les différents auteurs, mais au delà, les divergences vont s'accentuant et deviennent très grandes; *c*) à l'heure actuelle on ne peut pas encore se prononcer, en ce qui concerne le domaine des hautes pressions et des hautes températures, sur le diagramme ou la table dont la partie extrapolée s'approche le plus de la vérité; *d*) l'achèvement des travaux américains constituera la pierre de touche des tables et diagrammes actuels; *e*) les tables de Knoblauch doivent être considérées comme les plus précises des tables contemporaines. Il est toutefois prématuré, estime l'auteur, de chiffrer exactement les gains, tant dans l'ordre technique que dans l'ordre économique, que peut apporter l'application des très hautes pressions et des très hautes températures dans les installations à vapeur. Cependant l'existence de ces gains doit être considérée comme acquise par le développement moderne de ces installations. — I. F.

(1) Rappelons à ce propos qu'en juillet dernier s'est réunie à Londres la Conférence internationale des Tables relatives à la Vapeur d'eau ayant précisément pour objet la comparaison et la coordination des résultats des travaux sur les propriétés de la vapeur d'eau. Un compte rendu des séances de cette conférence a donné dans la *Revue générale de l'Electricité*, 7 septembre 1929, t. XXVI, p. 347.

Bibliographie : Le système de télégraphie Baudot et ses applications, par P. Mercy. (1). — Cet ouvrage s'adresse aux personnes désireuses d'acquérir des notions précises sur l'appareil Baudot, et plus particulièrement à tous les praticiens de la télégraphie. Afin d'éliminer toute digression de nature à nuire à la clarté de l'exposé et pour parer aux défaillances de mémoire du lecteur, cette étude est précédée d'une sorte de lexique donnant une explication succincte des termes employés et des phénomènes auxquels il est fait allusion au cours de l'ouvrage. Ces préliminaires renferment, en quelques pages, et dans l'ordre alphabétique, les connaissances qu'il est utile de posséder pour une compréhension complète du sujet.

L'ouvrage est divisé en trois parties principales. Dans la première partie sont étudiés le principe général du système et les différents organes employés dans une installation simple. Ces organes sont le manipulateur, les différents relais, les organes de mouvement, le régulateur et le distributeur. L'auteur explique d'une façon détaillée la composition de ces organes, puis il décrit l'ensemble d'une installation ordinaire et consacre un chapitre au traducteur, appareil qui traduit mécaniquement les combinaisons et les imprime en caractères typographiques.

La seconde partie est exclusivement consacrée aux réglages des appareils et aux principaux dérangements qui peuvent survenir en service normal.

La troisième partie traite des types particuliers d'installation; installations pour communications échelonnées, translations tournantes, translations par transmetteurs et installations pour lignes souterraines. Un chapitre a été spécialement réservé à l'adaptation du Baudot au service des lignes sous-marines, soit par les dispositifs de charge de Lesaffre, soit par le système de transmission de Pierre Picard.

Les principes théoriques et pratiques de l'exploitation des lignes par la méthode duplex (procédé du relais différentiel ou procédé du pont de Wheatstone) ont été l'objet d'un exposé très complet.

Enfin dans un dernier chapitre, ont été réunis les perfectionnements récents apportés au système : la transmission automatique, la commande du distributeur par le moteur phonique, celle du traducteur par alternateur synchrone autorégulateur système Grunenwald, etc.

Ce livre sera notamment d'une aide précieuse pour les élèves « dirigeurs » car il a été écrit avec un souci constant de rester simple, quelle que soit la complexité du sujet. — I. F.

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 640 pages, avec 263 figures dans le texte, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e). Prix : relié, 66 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

L'œuvre de M. Louis de Broglie

L'œuvre de M. Louis de Broglie, qui lui a valu le prix Nobel de physique en 1929, est, comme on le sait, l'établissement d'une nouvelle mécanique, la mécanique ondulatoire, qui se substitue à la mécanique classique devenue insuffisante pour l'étude des phénomènes microscopiques. M. A. Dauvillier, qui a suivi de très près l'évolution des travaux de M. de Broglie, montre dans l'article qui suit comment ce dernier a été conduit à ériger cette nouvelle doctrine. Ayant entrepris l'étude approfondie de quelques propriétés des rayons X, M. de Broglie attaqua le problème de la dualité apparente de la nature de la lumière, qui serait à la fois corpusculaire et ondulatoire ; ce sont ces deux conceptions que concilie la mécanique ondulatoire dans les conditions précisées par l'auteur de cet article. Cette conciliation résulte elle même de conceptions introduites dans la physique par Planck et Einstein, en particulier, et que M. Dauvillier rappelle ici, exposant l'enchaînement des faits et de leurs interprétations conduisant à l'harmonie cherchée et qu'établit la mécanique ondulatoire. Le principe étant posé, il importait de rendre compte des expériences qui confirment cette nouvelle interprétation ; l'auteur précise ensuite dans quelle mesure la mécanique ondulatoire se substitue à la mécanique classique et les conséquences de cette nouvelle théorie.

I. **Introduction**. — L'attribution en 1929 du prix Nobel de physique à M. Louis de Broglie pour sa prévision du caractère ondulatoire de l'électron, brillamment confirmée par l'expérience, appelle l'attention du public savant sur l'œuvre magistrale qu'il a accomplie, depuis près de dix ans, dans le domaine de la physique théorique. Cette œuvre est encore beaucoup plus générale et plus importante que le résultat particulier pour lequel le prix Nobel lui a été décerné et elle ne vise rien moins qu'à modifier profondément nos conceptions de la mécanique. La nouvelle doctrine qui en est issue, la mécanique ondulatoire, est beaucoup plus générale que la mécanique classique. Il y a entre les deux la même différence qu'entre l'optique physique ou ondulatoire de Fresnel et l'ancienne optique géométrique. Tandis que les unes ne considèrent que les aspects macroscopiques — à notre échelle — des phénomènes, les autres nous font pénétrer dans le domaine prodigieusement petit pour nous du proton, de l'électron et du photon.

Avant de décrire succinctement l'état de la physique des radiations avant l'avènement de ces idées nouvelles et de donner une idée des résultats obtenus par M. Louis de Broglie, nous rappellerons, tout d'abord, ses premiers travaux de physique théorique se rapportant aux rayons X.

II. **Contribution au développement de la physique des rayons X**. — En collaboration avec son frère aîné, M. Maurice de Broglie, M. L. de Broglie s'est d'abord attaché à l'étude des spectres magnétiques des photoélectrons excités par les rayons X. Il a pu expliquer les particularités de ces spectres et en tirer d'importantes déductions confirmant la théorie atomique de Bohr (1), l'existence des niveaux mis en évidence par les phénomènes d'absorption des rayons X et précisant la nature du phénomène photoélectrique présenté par ces rayons.

M. L. de Broglie a ensuite porté son attention sur les échanges d'énergie ayant lieu entre atomes et quanta de rayonnement (1). Il fit remarquer l'analogie qui existe dans la dégradation du quantum, à la suite de son émission et de son absorption par la matière, avec le phénomène thermodynamique correspondant : « De même que la chaleur tend à passer des corps chauds sur les corps froids, de même l'énergie radiante tend à passer des fréquences élevées aux fréquences moins élevées ; c'est là le principe de la loi de Stokes et l'on peut, dans une certaine mesure, assimiler les fréquences aux températures. »

Si l'on considère un cycle fermé dans lequel un rayonnement monochromatique passe d'un réservoir à un autre par l'intermédiaire d'un atome, on trouve, pour l'expression du rendement maximum, une valeur $\frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu_2}$, ν_1 et ν_2 étant les fréquences d'oscillation de l'atome dans les états 1 et 2, tout à fait analogue à celle du cycle de Carnot. De plus, le quotient de l'énergie fournie au rayonnement par la fréquence est analogue à l'entropie. Elle varie par multiples entiers de h (constante de Planck) et croît au cours des transformations.

(1) Maurice et Louis de Broglie ; Sur le modèle d'atome de Bohr et les spectres corpusculaires. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 21 mars 1921, t. CLXXII, p. 806.

— Sur les spectres corpusculaires des éléments. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 26 septembre 1921, t. CLXXIII, p. 527-529.

— Remarques sur les spectres corpusculaires et l'effet photoélectrique. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 4 décembre 1922, t. CLXXV, p. 1139-1141.

(1) Louis de Broglie ; Sur la dégradation du quantum dans les transformations successives des radiations de haute fréquence. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 5 décembre 1921, t. CLXXIII, p. 1160-1162.

L'irréversibilité de tous les phénomènes présentés par les rayons Röntgen ne serait ainsi qu'apparente, car leur fréquence correspondrait à des températures d'équilibre extrêmement élevées. Le raisonnement exige cependant l'existence de processus élévateurs de fréquence qui pourraient rendre compte de l'existence du spectre continu de ces radiations.

Considérant le rayonnement comme constituant un gaz monoatomique ou polyatomique d'atomes de lumière, M. Louis de Broglie, appliquant les règles de la mécanique statistique et de la thermodynamique, retrouve la loi de Planck-Wien (1) et relie la constante chimique des gaz à la constante de Stefan, révélant ainsi un nouvel aspect de l'action mutuelle de la matière et du rayonnement.

Dans un autre mémoire (2), il étudie, par les méthodes de la thermodynamique, l'équilibre existant entre atomes et photons dans une enceinte à température donnée et parvient à retrouver la loi d'absorption des rayons X établie expérimentalement par Bragg et Pierce en 1914. Celle-ci est, comme on le sait, de la forme

$$\left(\frac{\tau_\lambda}{\rho}\right)_k = A_k \lambda^3 N^4,$$

pour la longueur d'onde λ et la bande d'absorption K d'un élément de numéro atomique N; τ_λ est le coefficient atomique d'absorption; ρ, la densité, A_k, une constante. La loi théorique trouvée est de la forme

$$\frac{\tau_\lambda}{\rho} = \frac{\pi e^2}{c^4 m} \lambda^3 \sum_p n_p \nu_p^2,$$

c étant la vitesse de la lumière; e et m, la charge et la masse de l'électron; n_p, le nombre d'électrons occupant le niveau d'énergie $h\nu_p$. La somme $\sum_p$ se rapporte à tous les niveaux normaux (K, L, M, etc.) de l'atome considéré.

Si l'on calcule la constante A_k de la loi de Bragg-Pierce en y faisant $\nu_k = RN^2$, comme l'indique la théorie de Bohr (R étant la constante de Rydberg), on trouve une valeur en très bon accord avec le coefficient expérimental. De plus, la mesure des coefficients d'absorption relatifs aux diverses bandes (par exemple L_1, L_2, L_3) d'un élément donné permet, inversement, la détermination du nombre des électrons occupant normalement ces différents niveaux. C'est ce qu'a pu obtenir l'auteur par des mesures d'absorption portant sur les limites L d'un élément lourd.

Dans une série de travaux effectués en collaboration avec l'auteur (3), M. Louis de Broglie a étudié la structure des séries caractéristiques des rayons Röntgen et est parvenu d'abord à déterminer le système spectral de ces séries, et ensuite à montrer leur analogie avec les séries optiques déjà bien connues. C'est ainsi que nous pûmes établir que les diverse séries K, L_1, L_2, L_3, M, etc., possédaient une structure parfaitement ordonnée avec des composantes formées de doublets, régulièrement construits et espacés. Les intensités des composantes suivaient de même des lois régulières. Ainsi, la série K apparaissait formée d'une suite de doublets dits « réguliers » dont une composante était toujours d'une intensité double de celle de l'autre, ces doublets d'intensité globale décroissante se resserrant rapidement — dans l'échelle des fréquences — vers la limite d'absorption. Cette série paraissait ainsi tout à fait analogue à la série principale des spectres optiques. De même, d'autres séries des spectres Röntgen trouvaient leur analogie dans les séries dites « nettes » ou « diffuses » bien connues des spectroscopistes.

En un mot, la confusion apparente qui semblait régner dans les spectres de rayons X était complètetement élucidée en même temps qu'un schéma complet des niveaux atomiques était établi.

III. **Dualité apparente de la théorie de la lumière.** — Mais l'attention de M. de Broglie devait surtout se porter sur le dilemme qui, à cette époque, se présentait avec une acuité toute particulière à l'attention des physiciens, à savoir la dualité apparente de la nature de la lumière : son double aspect ondulatoire et corpusculaire. Par « lumière » nous entendons naturellement le quantum ou photon de toute radiation dite « électromagnétique », onde hertzienne, lumière, rayon X ou γ, Alors que les phénomènes de diffraction et d'interférence, si bien vérifiés dans tous les domaines de l'optique, depuis les ondes hertziennes jusqu'aux rayons γ, parlaient en faveur du caractère ondulatoire de ces radiations, la découverte des phénomènes photoélectriques dans les domaines des rayons lumineux et de Röntgen démontraient à l'évidence la localisation de l'énergie dans l'espace et l'existence de grains de radiations ou photons, comme Einstein l'avait suggéré en 1906, en reprenant, sous une forme modernisée, l'ancienne théorie corpusculaire de la lumière de Newton. Mais ces deux points de vue opposés apparaissaient tout à fait inconciliables. Les deux théories étaient simultanément vérifiées par des expériences différentes tout en demeurant incompatibles. Il ne paraissait pas possible de réaliser des phénomènes d'interférence avec des corpuscules, pas plus qu'il ne paraissait possible de produire des effets photoélectriques avec des ondes et, comme le disait à cette époque Norman-R. Campbell (1) : « La théorie corpusculaire seule peut expliquer comment l'énergie de la radiation est transférée d'un endroit à un autre, tandis que la théorie ondulatoire seule peut expliquer pourquoi le transfert le long d'une trajectoire dépend de celui qui a lieu sur une autre. Il semble presque que l'énergie elle-même soit trans-

(1) L. de Broglie; Rayonnement noir et quanta de lumière. *Le Journal de Physique et le Radium*, novembre 1922, t. III (6e série), p. 422-428.

(2) L. de Broglie; Rayons X et équilibre thermodynamique. *Le Journal de Physique et le Radium*, février 1922, t. III (6e série), p. 33-55.

(3) Louis de Broglie et A. Dauvillier; Le système spectral des rayons Röntgen et la structure de l'atome. *Le Journal de Physique et le Radium*, janvier 1924, t. V (6e série), p. 1-19.

(1) Norman R. Campbell. *Modern electrical theories*, 1913.

portée par des corpuscules, tandis que le pouvoir de l'absorber et de la rendre perceptible à l'expérimentation est transporté par des ondes sphériques ; mais il est impossible d'imaginer aucune théorie capable d'expliquer cette distinction. Les problèmes du rayonnement ne sont pas encore résolus. »

On ne comprenait pas non plus ce dualisme étrange entre ondes et corpuscules qui régnait alors dans la physique. La matière (proton ou électron) nous était toujours présentée sous la forme granulaire atomique, tandis que la radiation était considérée comme formée d'ondes sphériques continues. Or, si l'énergie est douée de masse, comme l'exige la théorie de la relativité, la radiation n'est qu'une forme particulière de matière très ténue et il faut, ou bien abandonner le caractère corpusculaire du proton et de l'électron pour en faire des ondes, ou bien abandonner l'aspect ondulatoire de la lumière et en faire des corpuscules. La seconde solution est évidemment la plus séduisante et la matière ou l'énergie prenaient ainsi une structure granulaire commune.

La théorie électromagnétique du rayonnement, déjà en défaut dans le cas de l'effet photoélectrique, l'était aussi dans celui des ondes dites « d'accélération ». La théorie de Bohr exigeait le non rayonnement d'un électron gravitant sur une orbite fermée. L'émission des rayons X indépendants qu'on avait cru, à l'origine, pouvoir expliquer par les théories de Stokes et de Wiechert apparaissait au contraire régie par des conditions de quanta.

IV. Etablissement de l'harmonie entre les deux théories de la lumière : origines de la mécanique ondulatoire. — 1. Théorie de la relativité. — Les idées de M. Louis de Broglie sont basées sur la relativité d'Einstein (1). D'après le principe de l'inertie de l'énergie, tout mobile matériel de masse m_0 au repos se déplaçant par rapport à un observateur fixe avec la vitesse $v = \beta c$, $(\beta < 1)$, doit posséder une énergie interne égale à

$$\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

L'intuition géniale de M. L. de Broglie fut de quantifier cette énergie interne et de lui attribuer un phénomène périodique de fréquence ν_0 telle que

$$h\nu_0 = m_0 c^2,$$

h étant la constante de Planck.

Pour un observateur fixe, cette énergie totale du mobile correspondra à une fréquence

$$\nu = \frac{m_0 c^2}{h\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-\beta^2}};$$

mais s'il observe le phénomène périodique interne il le verra ralenti à une fréquence

$$\nu_1 = \nu_0 \sqrt{1-\beta^2}.$$

Si le mobile coïncide dans l'espace avec l'onde de fréquence ν se propageant dans la même direction avec la vitesse $V = \frac{c}{\beta}$ plus grande que celle de la lumière et qu'il y ait accord de phase entre l'onde et le phénomène périodique interne, cet accord subsistera. Cette onde fictive, ou « onde de phase » comme l'appelle M. de Broglie, ne saurait transporter d'énergie. C'est une « onde pilote » dénuée sans doute de réalité physique ; sa vitesse V est reliée à la vitesse v du mobile par la relation

$$Vv = c^2$$

et l'énergie seule est transportée avec la vitesse v. Dans le cas du photon dont la masse est très petite,

$$m_0 < 10^{-50}\ \text{g},$$

v est très peu inférieur à c et l'onde de phase a une vitesse très peu supérieure à c.

Comme le dit M. L. de Broglie : « L'atome de lumière équivalent, en raison de son énergie totale, à une radiation de fréquence ν est le siège d'un phénomène périodique interne qui, vu par un observateur fixe, a, en chaque point de l'espace, même phase qu'une onde de fréquence ν se propageant dans la même direction avec une vitesse sensiblement égale (quoique très légèrement supérieure) à la constante c dite vitesse de la lumière ».

Si l'on cherche à évaluer la longueur de cette onde pilote on obtient

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{\frac{c^2}{v}}{\frac{m_0 c^2}{h\sqrt{1-\beta^2}}} = \frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{m_0 v},$$

équation fondamentale générale applicable à toute radiation ou transport d'énergie sous la forme de photon, électron, proton, atome, ion ou projectile matériel. On voit que la masse m et la vitesse v se compensent et que λ peut, dans certaines conditions (par exemple électron dont la masse est petite et la vitesse élevée) être à l'échelle des longueurs d'ondes que nous connaissons et devenir ainsi indirectement perceptible à l'expérimentation.

2. Principe de la mécanique ondulatoire. — Ces idées rétablissent donc l'harmonie qui avait disparu de la physique au point de vue des échanges d'énergie entre la matière et le rayonnement. Pour celui-ci, à côté des ondes continues que considérait la théorie électromagnétique, Planck avait d'abord ajouté la notion de quanta discontinu et Einstein avait résolument localisé l'énergie en corpuscules. Du côté de la matière, M. Louis de Broglie a suivi la voie inverse : aux grains que sont le proton et l'électron il a ajouté des ondes d'une nature nouvelle dont la mission est de les piloter

(1) Louis de Broglie ; Ondes et quanta. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 10 septembre 1923, t. clxxvii, p. 507-510.

dans les champs de force : le champ électromagnétique et le champ gravifique. Le parallélisme entre la matière et la lumière est ainsi rétabli et leurs deux aspects ondulatoire et corpusculaire, au lieu de s'opposer, deviennent inséparables.

L'onde lumineuse qui semblait jadis avoir une réalité physique ne devient plus ainsi qu'une abstraction. Cette « onde » n'a d'ailleurs, à vrai dire, jamais été décelée par l'expérience. Ce sont les photons seuls qui, par les phénomènes photoélectriques qu'ils produisent sur notre rétine ou nos instruments sont accessibles à l'expérimentation. On ne peut pas non plus dire expressément que les photons soient « pilotés » par les ondes « lumineuses ».

La théorie électromagnétique nous avait sans doute déjà habitués à considérer plusieurs vitesses de propagation, mais dans la matière : la vitesse du front d'onde c, celle de propagation de la phase v inférieure à c et la vitesse de propagation de l'amplitude également inférieure à c. Il n'y a cependant aucun rapport entre ces diverses vitesses et l'onde de M. L. de Broglie, qui, comme nous l'avons vu, considère seulement les trois vitesses caractéristiques :

1° La constante c, ($c = 3 \times 10^{10}$ cm : s);

2° La vitesse de l'énergie v, ($v < c$);

3° La vitesse de l'onde associée V, ($V > c$);

ces trois grandeurs étant reliées par la relation

$$Vv = c^2.$$

Dans le cas de l'onde lumineuse, les vitesses V et v se confondent presque et la fréquence de l'onde associée se confond sensiblement avec celle du quantum de radiation $h\nu$.

Les phénomènes d'interférence ou de diffraction présentés par les photons sont ainsi dus à la variation périodique et régulière de la densité des quanta suivant les ondes de phase. M. L. de Broglie a également montré (1) que la densité des photons trouvée à partir de ces considérations était proportionnelle à l'intensité donnée par la théorie classique et que l'on devait s'attendre à obtenir des phénomènes de diffraction avec des intensités lumineuses infiniment faibles, fait qui avait déjà été observé et était demeuré totalement inexplicable.

3. Une objection et sa réfutation. — Une objection a été opposée à cette conception ondulatoire. Il résulte de l'équation

$$h\nu = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

que la fréquence ν est reliée à la vitesse de l'énergie rayonnante, $v = \beta c$, de telle sorte que pour des fréquences ν tendant vers zéro la vitesse v diminuerait et s'annulerait pour

$$h\nu = m_0 c^2,$$

alors que l'étude de la propagation des oscillations électromagnétiques n'a rien montré de semblable, leur vitesse restant toujours voisine de c.

M. L. de Broglie y répond (1) en montrant que le quantum de lumière doit être beaucoup plus complexe que ce que nous imaginons : « Pour une énergie donnée, une onde devra comprendre un nombre p de grains de plus en plus grand quand ν et $h\nu$ diminueront ; quand la fréquence devient de plus en plus faible, le nombre des grains doit augmenter indéfiniment, *leur masse propre m_0 tendant vers zéro* et leur vitesse vers c, de sorte que l'onde les transportant deviendrait de plus en plus analogue à l'onde continue électromagnétique ».

Dans le cas du photon, pour lequel on a très sensiblement

$$m_0 = 0 \quad \text{et} \quad \beta = 1,$$

il faut imaginer un passage à la limite tel qu'en faisant tendre simultanément m_0 vers 0 et β vers 1 on conserve au quotient

$$\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

la valeur $h\nu$. On retrouve alors les équations de la théorie des photons pour les valeurs de l'énergie et de la quantité de mouvement

$$W = h\nu \quad \text{et} \quad G = \frac{h\nu}{c}.$$

V. **Premières vérifications expérimentales de la mécanique ondulatoire.** — Si l'on applique ces considérations à l'électron dont la masse est bien connue, la loi de L. de Broglie, qui devient

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

pour les vitesses petites devant celle de la lumière, permet de relier à toute vitesse v du corpuscule, c'est-à-dire à toute tension $\mathcal{V}$ équivalente, exprimée en volts, une longueur d'onde λ qui conduit à l'expression remarquablement simple

$$\lambda = \frac{12,24}{\sqrt{\mathcal{V}}}, \text{ en angströms (2).}$$

On en déduit que l'onde pilote d'électrons ayant une énergie mesurée par 10 kv (10^4 v) a une longueur égale à $\lambda = 0,122$ Å, c'est-à-dire tout à fait comparable à celle de rayons X pénétrants. De même que les photons sont susceptibles de présenter des phénomènes d'interférence en traversant des trous, des fentes fines ou des réseaux établis à leur échelle, de même M. L. de

(1) L. de Broglie; Sur la possibilité de relier les phénomènes d'interférence et de diffraction à la théorie des quanta de lumière. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*. 23 août 1926, t. CLXXXIII, p. 447-448.

(1) L. de Broglie; *Recherches sur la théorie des quanta*. Thèse de doctorat, 1923.

(2) Remarquer l'analogie avec la relation du quantum qui, avec ces unités, prend la forme

$$\lambda = \frac{12,35}{\mathcal{V}}, \text{ en angströms,}$$

$\mathcal{V}$ étant exprimé en kilovolts.

Broglie avait prédit (1) que des électrons pourraient présenter des phénomènes de diffraction. En effet, si le mobile doit, par exemple, traverser une fente dont la largeur est petite par rapport à son onde de phase, sa trajectoire, qui coïncide toujours avec le rayon de cette onde, s'incurvera en suivant le rayon de l'onde diffractée. Les réseaux cristallins, dont la constante est à l'échelle des ondes de phase des électrons modérément rapides (puisqu'ils diffractent les rayons X), devraient donc diffracter un faisceau d'électrons monocinétiques. A l'instigation de M. L. de Broglie nous tentâmes à cette époque la « réflexion cristalline » d'un faisceau cathodique accéléré sous quelques kilovolts sur un miroir tournant constitué par une feuille de mica fraîchement clivée, mais ne pûmes déceler aucun effet probant. Les laborieuses expériences que nous réussîmes dans la suite montrèrent en effet que le phénomène était très délicat à mettre en évidence.

Ce furent les physiciens américains Davisson et Germer, des Bell Telephone Laboratories, qui, en 1927, furent les premiers, tout d'abord à leur insu et par suite de circonstances accidentelles, à déceler la réflexion cristalline des électrons. Ils s'étaient proposé de mesurer à l'électromètre la distribution spatiale d'électrons lents (quelques centaines de volts) diffusés par un miroir de nickel. Ils trouvaient des courbes continues ne présentant aucune anomalie lorsqu'un accident (une fêlure du tube à vide, tandis que le miroir de nickel était rendu incandescent pour le purger des gaz occlus) vint interrompre les expériences. Le miroir de nickel soigneusement repoli fut replacé dans le tube réparé et les expériences, poursuivies. Davisson et Germer furent alors très surpris de constater que les courbes de diffusion présentaient des singularités remarquables dont l'explication se trouvait dans une réflexion cristalline des électrons. Les innombrables microcristaux qui constituaient à l'origine la surface du miroir de nickel s'étaient groupés à la faveur du refroidissement brusque en quelques facettes cristallines étendues qui étaient responsables du phénomène, et cet exemple montre, une fois de plus, après la découverte de Röntgen, quel rôle le hasard peut jouer dans les découvertes physiques.

Davisson et Germer firent une étude très soignée du phénomène et montrèrent que la diffraction observée vérifiait la loi de L. de Broglie en admettant une légère modification superficielle de la constante réticulaire, qui fut ensuite attribuée à l'existence d'un indice de réfraction. Dans un mémoire plus récent, ils recherchèrent, par une méthode tout à fait analogue à celle que l'on emploie pour étudier la polarisation des rayons X, l'existence d'une polarisation des ondes de phase, mais avec un résultat négatif : aucune polarisation ne fut observable.

De nombreux auteurs réussirent ensuite avec des électrons très lents ou très rapides (Rupp, G.-P. Thomson, Szczenieski), à obtenir la réflexion interférentielle ou des anneaux de diffraction analogues à ceux de Debye-Hull en utilisant des membranes ou des poudres cristallines minérales. Rupp réussit même à obtenir la diffraction sur un réseau ligné optique disposé sous l'incidence tangentielle, comme dans les expériences de Compton effectuées avec des rayons X.

M. Ponte fit l'an dernier de remarquables expériences sur ce sujet. Utilisant des membranes très ténues d'oxyde de zinc et des électrons d'environ 15 kv, il réussit à obtenir d'admirables diagrammes extrêmement riches en raies, semblables à ceux qui auraient été fournis par des rayons X de longueur d'onde équivalente. Avec des électrons monocinétiques de vitesse soigneusement mesurée, il put, par la connaissance des distances réticulaires, déduites des mesures précédemment effectuées avec les rayons X, vérifier la loi de L. de Broglie, sans indice de réfraction, à 1 centième près.

Nous avons pu nous-même l'an dernier, en utilisant une technique analogue, rendre pour la première fois visibles sur un écran fluorescent des anneaux de diffraction produits par des électrons d'énergie supérieure à 8 kv. Sous 20 kv, par exemple, une demi-douzaine d'anneaux sont déjà visibles et la photographie en décèle une vingtaine. Avec un courant insignifiant dans le tube cathodique (0,2 milliampère) nous pûmes photographier de beaux diagrammes (fig. 1) sur des plaques ordinaires en moins d'une seconde,

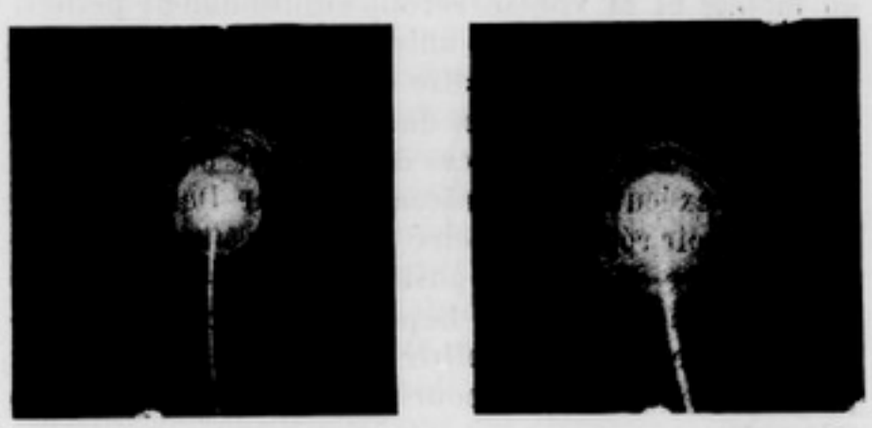


Fig. 1. — Anneaux de diffraction d'électrons : à gauche, oxyde de zinc, $V = 23$ kv, durée de pose 5 s, déviation magnétique ; à droite, oxyde de zinc, $V = 25$ kv, durée de pose 2 s.

c'est-à-dire avec une dépense d'énergie environ 100 000 fois plus petite que celle qui aurait été nécessaire pour obtenir le même diagramme avec des rayons X. Le fait de voir apparaître sur l'écran la figure de diffraction, de la mobiliser en bloc au moyen d'un champ magnétique, de voir les anneaux se resserrer et s'élargir en modifiant la tension appliquée au tube, apporte la preuve la plus directe et la plus convaincante de la réalité de la diffraction cristalline des électrons en vérifiant d'une façon frappante les idées audacieuses de M. L. de Broglie.

On sera surpris qu'un aussi gros phénomène n'ait pas été mis plus tôt expérimentalement en évidence. Il faut cependant, pour le montrer, réunir de nombreuses conditions qui rendent l'expérience fort délicate. Même

(1) L. de Broglie ; Quanta de lumière, diffraction et interférences. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 24 septembre 1923, t. CLXXVII, p. 548-550.

avec des électrons rapides de plusieurs kilovolts, la poudre cristalline employée doit être assez conductrice pour ne pas se charger électriquement et assez ténue pour être transparente au faisceau cathodique. La diffraction ne doit, en effet, s'accompagner d'aucun ralentissement des électrons. Si l'on ne prend pas de grandes précautions, le phénomène interférentiel est masqué par une abondante diffusion. Il est probable que ce beau phénomène prendra place un jour prochain parmi les moyens dont nous disposons pour étudier la structure superficielle des corps cristallisés. Il ne met en œuvre qu'une quantité de matière insignifiante, par suite du pouvoir de pénétration très faible des électrons (comparativement à celui des rayons X) et ne nécessite, pour la même raison, qu'une dépense extrêmement faible d'énergie. Non seulement M. L. de Broglie aura ouvert une voie nouvelle, dont les conséquences sont encore incalculables, à la physique théorique, mais il aura, par contre-coup, doté la technique d'un moyen d'investigation nouveau pour l'étude de la structure de la matière.

VI. La mécanique ondulatoire et la mécanique classique. — Si nous entrons maintenant plus précisément dans le domaine de la mécanique et de la dynamique du point matériel, nous pourrons nous attendre à des effets semblables lorsque l'onde de phase aura une longueur appréciable, c'est-à-dire lorsque la masse du mobile et sa vitesse seront suffisamment petites. Les rayons α sont encore animés de grandes vitesses; mais les protons, c'est-à-dire les ions positifs d'hydrogène assez lents, pourront donner lieu à une réflexion cristalline. Des expériences de ce genre ont effectivement été exécutées tout récemment par Dempster qui semble avoir réussi à déceler une telle réflexion en faisant tomber des rayons positifs H^+ de 40 kv sur une face de clivage de calcite disposée sous l'incidence tangentielle, de manière à offrir une distance réticulaire particulièrement faible pour l'onde de phase devenue très petite.

Mais si nous avons affaire à des mobiles, électrisés ou non, de masse beaucoup plus forte que celle des atomes les plus légers, la quantité mv sera trop grande et la longueur de l'onde de phase deviendra extrêmement faible. C'est, par exemple, le cas pour un projectile d'artillerie ou une balle de tennis. Or, à une longueur d'onde aussi petite ne correspondent plus que des phénomènes de diffraction tout à fait négligeables et nous rentrons dans le domaine usuel de la mécanique qui ignore de tels effets. La nouvelle mécanique, qui est une « micromécanique » se confond donc avec l'ancienne lorsqu'on considère les phénomènes à notre échelle, comme la dynamique relativiste se confond avec la dynamique classique lorsqu'on ne considère que des mouvements lents par rapport à la vitesse de la lumière. Autrement dit, nous passons ainsi de l'optique physique ondulatoire à l'optique géométrique élémentaire qui représente, elle aussi, le cas de la mécanique usuelle.

Examinons maintenant quelques-unes des conséquences les plus importantes de la nouvelle doctrine. Si l'on considère un électron atomique gravitant sur une orbite de Bohr fermée, avec une vitesse uniforme et une période de révolution égale à T_r, l'onde associée partant d'un point O origine et décrivant la trajectoire avec la vitesse $\frac{c}{\beta}$ retrouvera l'électron au temps τ en un point O' tel que : $OO' = \beta c \tau$. On a donc

$$\tau = \frac{\beta}{c}[\beta c(\tau + T_r)] = \frac{\beta^2}{1-\beta^2} T_r.$$

La phase interne de l'électron, durant le trajet OO' varie de

$$2\pi\nu_1\tau = 2\pi \frac{m_0 c^2}{h} T_r \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

La trajectoire n'apparaît possible et stable que si l'onde de phase retrouve l'électron en phase avec elle, c'est-à-dire en résonance sur la longueur de la trajectoire, donc si

$$\frac{m_0 \beta^2 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} T_r = nh,$$

n étant un nombre entier.

Cette condition de stabilité est bien celle introduite empiriquement par Bohr dans sa théorie de l'atome. Dans le cas d'un électron tournant avec une vitesse angulaire ω sur une orbite circulaire de rayon R et pour des vitesses négligeables devant celles de la lumière, on retrouve l'expression classique de Bohr

$$m_0 \omega R = \frac{nh}{2\pi}.$$

Ainsi le mystère des orbites stables stationnaires non rayonnantes de l'atome de Bohr s'interprète par la considération de la résonance de l'onde de phase sur la trajectoire. Bien que ce résultat soit obtenu par l'application des principes de la mécanique classique, il peut être considéré comme un succès de la théorie. Nous verrons plus loin que Schrödinger l'a établi d'une façon plus satisfaisante. Cependant la mécanique ancienne demeure, dans ce cas, applicable en première approximation.

Les propriétés classiques de l'électron (déviation par les champs électromagnétiques) s'expliquent aussi d'une manière nouvelle. Au lieu de dire, selon l'électromagnétisme classique, que l'électron — assimilable à un élément de courant — subit une action électromagnétique, nous devons considérer la propagation de ses ondes de phase dans le champ électromagnétique et la réfraction qu'elles y subissent par suite du changement d'indice qu'elles y trouvent. Le champ magnétique non uniforme coaxial concentrant en un spot fin un large faisceau d'électrons doit aussi être considéré comme analogue à une lentille concentrant un faisceau lumineux. Les choses se compliquent lorsqu'un électron, par exemple, est accéléré dans un champ électrique. En

chaque point de sa trajectoire sa vitesse varie et la fréquence de son onde pilote change. « Pour assurer l'accord de phase entre l'onde et le mobile, on est conduit à supposer que l'onde de phase d'un mobile d'énergie totale donnée a, en chaque point, une fréquence et une vitesse fixée par la valeur qu'aurait la vitesse du corps s'il se trouvait en ce point. » Les rayons se calculeront alors comme dans un milieu à dispersion variable en appliquant le principe de Fermat. On sait que, d'après ce principe fondamental de l'optique, la lumière suit le chemin pour lequel le temps de propagation est minimum. Ce temps étant égal au quotient du chemin parcouru ds par la vitesse V de l'onde, le principe de Fermat s'exprime

$$\int_A^B \frac{ds}{V} = \text{minimum}.$$

D'autre part, le principe de moindre action de Maupertuis, principe fondamental de la mécanique, exprime que la trajectoire suivie par un mobile de vitesse v est celle pour laquelle le produit des vitesses v par les éléments de chemin parcouru ds est minimum,

$$\int_A^B v\,ds = \text{minimum}.$$

Or la condition

$$\frac{ds}{V} = v\,ds$$

est précisément satisfaite puisque les vitesses v du mobile et V de l'onde sont reliées par l'expression

$$Vv = c^2.$$

Il en résulte que la nouvelle mécanique exprime l'identité des principes de Fermat et de Maupertuis qui apparaissent comme les expressions différentes d'un seul et même principe. Les deux grands principes de l'optique géométrique et de la dynamique sont ainsi fondamentalement liés : « les rayons des ondes de phase coïncident avec les trajectoires dynamiquement possibles ». Cette belle synthèse date de 1923 (1).

M. Louis de Broglie, après avoir étudié la propagation de l'onde de phase d'un mobile animé d'un mouvement uniforme, s'est efforcé d'étudier cette propagation dans les champs de force. Nous connaissons aujourd'hui deux sortes de champs : le champ gravifique et le champ électromagnétique. On sait quelle magnifique interprétation du premier a été donnée par Einstein. Posant l'équivalence des forces d'inertie et de gravitation, il a montré qu'aussi bien dans un champ de gravitation qu'en l'absence de tout champ, la trajectoire du point matériel se confond toujours avec une géodésique de l'espace-temps, mais que, celui-ci n'étant plus euclidien dans un univers contenant des masses, les trajectoires ne sont plus rectilignes. La gravitation rentrait ainsi dans le cadre de la géométrie.

En ce qui concerne le champ électromagnétique, dont la nature nous demeure inconnue, M. L. de Broglie (1) a déduit de l'étude de la propagation de la phase d'un point matériel électrisé des résultats qui permettront peut-être un jour d'en donner une interprétation. « Dans un champ électromagnétique, dit-il, l'espace-temps est euclidien et cependant le mouvement d'une charge ponctuelle ne s'accomplit pas suivant une géodésique et dépend à la fois de la sensibilité électromagnétique et du potentiel d'Univers. C'est là la différence essentielle qui sépare la dynamique gravifique. »

VII. Quelques résultats de la mécanique ondulatoire. — Un essor considérable a été donné en 1926 aux bases de la mécanique ondulatoire par Schrödinger, à Zürich, qui a établi l'équation de propagation des ondes de phase. Nous ne saurions être plus clair qu'en reproduisant à ce sujet les termes mêmes de M. P. Langevin dans son magistral exposé sur « les nouvelles mécaniques en chimie » à la récente Réunion internationale de Chimie physique tenue à Paris le 8 octobre 1928 (2) : « M. Schrödinger a caractérisé une onde de phase par une grandeur de la nature la plus simple, par un scalaire ψ — ce qui était naturel pour étudier des ondes d'un type tout à fait nouveau — et a obtenu l'équation de propagation de ce scalaire ψ, comme Poisson avait obtenu l'équation de propagation de la pression (scalaire) d'un milieu élastique dans le cas d'une onde sonore. En optique, cependant, il ne suffit pas d'un simple scalaire pour déterminer une onde lumineuse, mais il faut un système plus compliqué d'éléments vectoriels et tensoriels, par exemple, le champ électrique et le champ magnétique contenus dans le plan d'onde. De même, dans la théorie de ces ondes de phase, de grands progrès ont été réalisés, en particulier par Dirac et Darwin et par Pauli, en remplaçant le scalaire primitif de Schrödinger par des éléments d'ordre vectoriel et même par des grandeurs tensorielles d'un ordre plus élevé. Ils ont ainsi donné à l'onde de phase un caractère plus complexe, mais il était naturel de prendre au début l'élément le plus simple. Actuellement, d'ailleurs, la transition n'est pas encore complète et on trouve à la fois des mémoires comme ceux de London, où l'on utilise le ψ scalaire de Schrödinger, et d'autres travaux, comme le mémoire plus récent de Gordon sur l'atome d'hydrogène, où l'on utilise la forme tensorielle. On s'aperçoit d'ailleurs que la forme scalaire primitive se développe, en appelant, en quelque sorte, la forme tensorielle plus complexe. Les premiers résultats de la mécanique ondulatoire se

(1) L. de Broglie; Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, octobre 1923, t. CLXXVII, p. 630.

(1) L. de Broglie. *Ondes et mouvements*, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie (1926).

(2) P. Langevin; Les nouvelles mécaniques et la chimie. *Comptes rendus des séances de la Réunion internationale de Chimie physique : L'activation et la structure des molécules*, p. 551, édités par Les Presses universitaires de France, à Paris, 1929.

sont ressentis de cette approximation (faite en opérant uniquement sur un élément scalaire); l'équation de propagation obtenue d'abord ressemble tout à fait aux équations de propagation de la théorie de l'acoustique ou de la théorie de l'optique. »

Schrödinger a pu interpréter d'une façon remarquable les niveaux d'énergie de l'atome de Bohr et a donné une théorie de la structure de l'atome d'hydrogène. M. Gordon tenant compte, non seulement de la charge électrique de l'électron, mais de son moment magnétique, est allé plus loin et a interprété les nombres quantiques introduits empiriquement par les spectroscopistes. On retrouve ainsi la distribution bien connue des électrons sur les niveaux K, L, M, etc., de l'atome, eux-mêmes déterminés d'une manière précise.

Un autre résultat d'importance considérable de la mécanique ondulatoire a été de démontrer l'existence de l'électron magnétique et d'expliquer, en particulier, la nature magnétique des liaisons chimiques non polaires. On sait que ces liaisons sont, en effet, de deux sortes : lorsque des atomes électropositifs et électronégatifs échangent des électrons superficiels pour se transformer en ions plus stables qu'eux et qu'ils s'attirent par attraction électrostatique, on a affaire à une liaison dite polaire ou électrolytique. Mais un grand nombre de liaisons chimiques ne rentrent pas dans cette catégorie, en particulier beaucoup de liaisons organiques ou simplement la liaison de deux atomes neutres et symétriques pour former une molécule comme celle de l'hydrogène. Les spectroscopistes avaient cherché à expliquer ces liaisons en donnant un moment magnétique à l'électron. Ce moment est interprété par la théorie comme dû au moment de quantité de mouvement produit par le « pivotement » de l'électron sur lui-même.

Quelle idée pouvons-nous nous faire du phénomène périodique dont tout grain d'énergie est le siège ? Tout d'abord il n'est nullement nécessaire de confiner le phénomène à l'intérieur même du grain, si « grain » il y a. Le phénomène peut intéresser toute une région de l'espace autour du point matériel. Les considérations abstraites de phase vont jusqu'à faire disparaître le « point » matériel proprement dit, comme la considération du champ électrique de l'électron faisait déjà presque disparaître son existence en tant que grain d'énergie dans la théorie électromagnétique. « Le mouvement d'une particule, dit Langevin, n'a plus de sens en mécanique ondulatoire. On ne peut pas suivre une particule. On peut seulement connaître la distribution statistique dans l'espace d'un certain nombre de particules, ou bien la distribution dans le temps d'une particule par l'intermédiaire de sa probabilité de présence aux différents points du champ de force. »

Tout cela demeure fort troublant : la nature des ondes de phase nous est totalement inconnue. Elles ne sont jusqu'ici qu'une abstraction mathématique. Espérons qu'un électromagnétisme élargi leur donnera peut-être un jour une signification physique.

Quoi qu'il en soit, la géniale synthèse apportée par M. L. de Broglie, réussissant à faire rentrer la mécanique dans l'optique, comme Einstein avait fait rentrer la gravitation dans la géométrie, nous a ouvert d'immenses horizons nouveaux et nous a donné des vues d'une grande beauté rationnelle sur la philosophie de la nature.

A. Dauvillier.

Les ondes électromagnétiques dues au changement de l'impédance sur les lignes de transmission d'énergie

Poursuivant ses études sur la propagation des ondes sur les lignes de transmission d'énergie, étendues au cas de la surface de séparation de deux milieux, et qui ont été publiées dans ces colonnes (*), *M. Kotelnikoff examine dans l'article qui suit le phénomène auquel donne lieu une variation de l'impédance caractéristique de la ligne; il a traité antérieurement le problème du changement de l'impédance en un point donné et rappelle ici les résultats obtenus pour envisager le cas où la modification de l'impédance est due à une variation de la fréquence, autrement dit, la variation de l'impédance a lieu non plus dans l'espace, mais dans le temps. Quelle que soit la cause de cette variation, l'effet se traduit par l'apparition d'une tension et d'un courant supplémentaires dont l'auteur définit les lois de la propagation.*

I. **Introduction.** — L'impédance d'une ligne de transmission d'énergie peut subir une variation soit en un point quelconque de la ligne c'est-à-dire dans l'espace, soit à un moment quelconque, c'est-à-dire dans le temps.

Lorsqu'une onde, en se propageant le long de la ligne d'impédance caractéristique Z_1 rencontre une autre impédance Z_2, il y a modification d'impédance dans l'espace. La variation de l'impédance dans le temps a lieu lorsque la fréquence de la tension change

(*) A.-K. Kotelnikoff; **Diagrammes des tensions et des courants dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance**. *Revue générale de l'Electricité*, 21 mai 1927, t. XXI, p. 813-820. — **Le coefficient de réflexion dans les lignes de transmission d'énergie**. *Revue générale de l'électricité*, 14 avril 1928, t. XXIII, p. 654-656. — Méthode de calcul de la tension et du courant sur les lignes de transmission d'énergie. *Revue générale de l'Electricité*, 19 mai 1928, t. XXIII, p. 860-863. — La pénétration des déplacements électriques et magnétiques ainsi que des ondes électromagnétiques à la surface de séparation de deux milieux. *Revue générale de l'Electricité*, 13 juillet 1929, t. XXVI, p. 813-820.

et modifie ainsi l'impédance, ou mieux la réactance d'induction.

Dans les deux cas il y a un point ou un moment « de séparation », entre les phénomènes qui ont lieu de part et d'autre du point ou du moment considéré.

II. **Coefficient de séparation dans l'espace et dans le temps.** — Le premier cas a fait l'objet de plusieurs études publiées dans ces colonnes (1). La conclusion générale peut être formulée comme il suit : chaque changement de l'impédance que rencontrent la tension et le courant, en se propageant le long de la ligne, devient la cause de l'apparition d'une tension et d'un courant supplémentaires.

Nous avons désigné sous le nom de « tension pénétrante » la tension fondamentale, V_f, qui ne varie point elle même en passant au delà du point considéré et qui se propage dans la même direction de part et d'autre du point où se produit le changement de l'impédance. La deuxième tension, que nous avons désignée sous le nom de « tension au point de séparation » prend naissance en ce point de séparation; c'est la tension supplémentaire, V_s, due exclusivement au changement de l'impédance et qui se propage dans deux directions opposées de part et d'autre du point de séparation. Elle est

$$V_s = K_1 V_f,$$

où

$$K_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1},$$

Z_2 étant l'impédance après le point de séparation, tandis que Z_1 est celle avant ce même point. Ce coefficient est désigné sous le nom de « coefficient au point de séparation dans l'espace »; tel est le premier cas. Dans le second que nous allons examiner, nous supposons qu'à un instant quelconque précis l'impédance de la ligne infinie étant définie par

$$Z_1 = \sqrt{\frac{R + j\omega_1 L}{G + j\omega_1 C}},$$

devient

$$Z_2 = \sqrt{\frac{R + j\omega_2 L}{G + j\omega_2 C}}.$$

Evidemment, en ce moment, de même que dans le cas précédent au point précis de la ligne, doit apparaître quelque quantité d'électricité libre qui se traduit par un courant

$$I_1 - I_{11} = \frac{V_f}{Z_1} - \frac{V_f}{Z_2} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 Z_2} V_f,$$

et qui aboutit à l'accroissement ($Z_2 > Z_1$) ou à la diminution ($Z_2 < Z_1$) de la tension fondamentale, V_f, c'est-à-dire à la tension supplémentaire V_s.

(1) A.-K. Kotelnikopp. *Loc. cit.*

Cette tension supplémentaire que nous désignons sous le nom de « tension au moment de séparation » se propage dans deux directions opposées avec l'impédance commune $\frac{Z_2}{2}$ et est définie par l'équation

$$V_s = (I_1 - I_{11}) \frac{Z_2}{2} = \frac{Z_2 - Z_1}{2Z_1} V_f = K_1 V_f,$$

où

$$K_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{2Z_1}$$

est le coefficient que nous désignons sous le nom de « coefficient au moment de séparation » (1).

Il est clair que dans le cas d'un changement continu de l'impédance on a

$$K_1 = \frac{dZ_1}{2Z_1}.$$

Il faut rappeler que la tension de séparation dans le temps tout comme celle dans l'espace se propage toujours dans deux directions opposées; c'est la caractéristique même de cette tension. Elle s'ajoute à la tension fondamentale, V_f, qui ne varie point elle-même au moment considéré. La somme géométrique de ces tensions donne la tension résultante, V_{res}, en ce moment.

Il importe de noter que les lois de la propagation de ces tensions, chacune séparément, peuvent être essentiellement différentes, ainsi que nous le verrons dans ce qui suit.

III. **Théorème général.** — Nous pouvons formuler le théorème général suivant :

Chaque modification de l'impédance de la ligne en un point précis tout comme en un moment précis devient la cause de l'apparition de la tension supplémentaire. La superposition de la tension fondamentale et de la tension de séparation donne l'état électromagnétique résultant de la ligne au moment ou au point considéré.

IV. **Tension de séparation dans l'espace et dans le temps.** — Nous avons déjà indiqué que la propagation des ondes de ces tensions peut se faire de manières essentiellement différentes. Dans le cas du changement de l'impédance en un point précis toutes les deux tensions, tension fondamentale et tension de séparation, ont leur origine dans la source d'énergie, placée au poste émetteur. Si le changement de l'impédance a lieu à un moment précis, seule la tension fondamentale a son origine dans ladite source; quant à la tension de séparation, il arrive le plus souvent qu'elle n'a plus de source destinée à l'entretenir après son appa-

(1) Ordinairement on désigne les quantités V_f, V_s et K sous les noms de « tension directe ou incidente, rétrograde ou réfléchie et coefficient de réflexion », mais nous préférons les dénominations que nous proposons parce qu'elles expriment mieux, à notre avis, la nature physique du phénomène que les désignations ordinaires.

rition, d'où son amortissement d'une façon analogue à la décharge d'un condensateur. Sur la ligne existe donc une tension de séparation dans le temps, ou au moment de séparation, abandonnée à elle même.

La première question qui se pose est de savoir quelles sont les fonctions du temps t et de la distance x qui représenteront la distribution de la tension et du courant. Ces fonctions doivent être telles qu'elles satisfassent simultanément aux deux systèmes d'équations

$$v_s = Ri_s + L\frac{di_s}{dt},$$

$$i_s = Gv_s + C\frac{dv_s}{dt},$$

et

$$-\frac{dv_s}{dx} = Ri_s + L\frac{di_s}{dt},$$

$$-\frac{di_s}{dx} = Gv_s + C\frac{dv_s}{dt}.$$

Le premier système est analogue à celui de la décharge d'un condensateur, la seule différence résidant dans le signe de $C\frac{dv_s}{dt}$ (+ au lieu de −), parce qu'ici la capacité C représente le récepteur et non pas la source d'énergie, comme cela a lieu dans le cas de la décharge ordinaire.

Le second système d'équations correspond à la propagation de la tension et du courant le long de la ligne de transmission d'énergie.

Les fonctions cherchées doivent aussi satisfaire aux conditions limites, à savoir

$$V_{so} = K_t V_{fo},$$

$$I_{so} = K_t I_{fo} = \sqrt{\frac{\bar{C}}{\bar{L}}}\, V_{so},$$

à la fois pour $x = o$ et $t = o$ et les valeurs

$$V_{s\infty} = o \quad \text{et} \quad I_{s\infty} = o,$$

à la fois pour $x = \infty$ et $t = \infty$. On a donc les solutions suivantes

$$v_s = Ae^{-x-(\gamma+\delta)t} + Be^{-x-(\gamma-\delta)t}$$

$$i_s = \sqrt{\frac{\bar{C}}{\bar{L}}}\,[Me^{-x-(\gamma+\delta)t} + Ne^{-x-(\gamma-\delta)t}],$$

dans lesquelles on a posé

$$A = \frac{V_{so}}{2\psi}(\psi - \varphi - 2\sqrt{LC});$$

$$\psi = \sqrt{(RC-LG)^2 + 4LC} = 2LC\delta,$$

$$B = \frac{V_{so}}{2\psi}(\psi + \varphi + 2\sqrt{LC}); \quad \varphi = RC - LG,$$

$$M = \frac{V_{so}}{2\psi}(\psi + \varphi - 2\sqrt{LC}); \quad \gamma = \frac{RC+LG}{2LC},$$

$$N = \frac{V_{so}}{2\psi}(\psi - \varphi + 2\sqrt{LC}); \quad \delta = \frac{\psi}{2LC}.$$

Cette solution donne le processus de la disparition de la tension et du courant et celui de la propagation du front de l'onde le long de la ligne. On peut voir que les premiers termes des expressions que nous venons d'écrire s'amortissent très vite ; c'est pourquoi, pour les points assez éloignés de l'origine de la ligne, on peut les négliger. Ainsi pour le front d'onde avançant dans le sens de la propagation, ou front d'onde « en avant » on a

$$v_s = Ae^{-x-(\gamma+\delta)t} + Be^{-x-(\gamma-\delta)t},$$

$$i_s = \sqrt{\frac{\bar{C}}{\bar{L}}}\,[Me^{-x-(\gamma+\delta)t} + Ne^{-x-(\gamma-\delta)t}].$$

Pour déterminer les valeurs relatives aux points du front d'onde se propageant en arrière ou dans le sens inverse (on doit remarquer que la tension de séparation se propage non seulement en avant, mais aussi en arrière), on a

$$v_s = Ae^{-x-(\gamma+\delta)t}e^{-y-(\gamma+\delta)z} + Be^{-x-(\gamma-\delta)t}e^{-y-(\gamma-\delta)z}$$

$$i_s = \sqrt{\frac{\bar{C}}{\bar{L}}}\,[Me^{-x-(\gamma+\delta)t}e^{-y-(\gamma+\delta)z} + Ne^{-x-(\gamma-\delta)t}e^{-y-(\gamma-\delta)z}]$$

où y est la distance du point considéré comptée à partir du front « avancé » et z, le temps correspondant à ce point.

En tenant compte que

$$y = x - m, \quad z = t - n,$$

où m est la distance du point considéré, comptée à partir de l'origine de la ligne et n, le temps correspondant, on a

$$v_s = Ae^{-(2x-m)-(\gamma+\delta)(2t-n)} + Be^{-(2x-m)-(\gamma-\delta)(2t-n)},$$

$$i_s = \sqrt{\frac{\bar{L}}{\bar{C}}}\,[Me^{-(2x-m)-(\gamma+\delta)(2t-n)} + Ne^{-(2x-m)-(\gamma-\delta)(2t-n)}],$$

où x et t sont les coordonnées du front mobile « en avant » comptées à partir de l'origine de la ligne ; m et n, celles du point immobile du front en arrière comptées à partir du même point.

Exemple. — Supposons qu'une tension constante soit appliquée à l'origine de la ligne dont les éléments caractéristiques sont R, L, C et G, et que sur la figure 1 soit représenté le phénomène étudié en fonction du temps. On peut considérer, au point de vue du changement de l'impédance, les parties différentes de cette courbe : 1° le point A ; 2° la partie A-B ; 3° le point B et 4° la partie B-C.

Pour illustrer l'application du théorème général que

nous venons de considérer, il suffit d'étudier ce qui se passe en un point, par exemple au point B de la courbe de la figure 1. Il est bien connu que pour la partie A-B

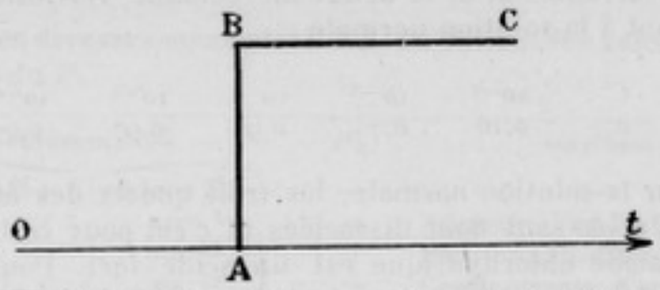


Fig. 1. — Schéma des régions ou des points critiques considérés dans l'étude de la propagation d'une onde de tension supplémentaire due à un changement d'impédance.

l'impédance caractéristique de la ligne est égale à $Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C}}$, tandis que pour la partie B-C elle est égale à $Z_2 = \sqrt{\frac{R}{G}}$. C'est pourquoi au point B on a le changement instantané de l'impédance

$$\text{de} \qquad Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{à} \quad Z_2 = \sqrt{\frac{R}{G}}.$$

Par conséquent, le coefficient de séparation dans le temps, ou au moment de séparation, pour le moment correspondant au point B de la courbe, est

$$K_t = \frac{Z_2 - Z_1}{2 Z_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{RC}{LG}} - 1\right).$$

L'état électromagnétique de l'origine de la ligne au moment correspondant à B est défini par

$$v_{\substack{t=0\\x=0}} = V_{fo} + V_{so} = V_{fo} + \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{RC}{LG}} - 1\right) V_{fo},$$

$$i_{\substack{t=0\\x=0}} = I_{fo} + I_{so} = I_{fo} + \frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{RC}{LG}} - 1\right) I_{fo}.$$

Pour un point arbitraire immobile de la ligne, dont les coordonnées comptées à partir de l'origine de la ligne sont m et n, on a

$$v = V_{fo} e^{-m\sqrt{RG}} + A e^{-(2x-m)-(\gamma+\delta)(2t-n)} + B e^{-(2x-m)-(\gamma-\delta)(2t-n)},$$

$$i = \sqrt{\frac{G}{R}}\, V_{fo} e^{-m\sqrt{RG}} + \sqrt{\frac{C}{L}}\left[M e^{-(2x-m)-(\gamma+\delta)2t-n)} + N e^{-(2x-m)-(\gamma-\delta)(2t-n)}\right],$$

où x et t sont les coordonnées du front « en avant » comptées à partir de l'origine de la ligne.

V. **Conclusion**. — La méthode que nous avons proposée est applicable à l'étude de la propagation des tensions et des courants en période variable, cet état variable conduisant à l'apparition des ondes que nous venons de considérer.

Les mêmes phénomènes ont lieu dans les lignes de transmission d'énergie lorsque les grandeurs R, L, C et G (quelques unes d'entre elles ou toutes les quatre) sont fonctions du temps, d'où résulte une modification de l'impédance caractéristique de la ligne.

A.-K. Kotelnikoff,
Directeur de la chaire des Recherches scientifiques d'électrotechnique à Kiev (Ukraine).

Revues, analyses et informations

La concentration des solutions en ions hydrogène : le P_H des solutions (1).

1. Introduction. — La notion d'ions a permis d'aborder l'étude de liquides complexes comme l'eau de mer et les liquides du corps humain. Cette notion a enfin conduit à la généralisation des propriétés des électrolytes, c'est-à-dire pratiquement, de toutes les réactions par voie humide, ou la presque totalité des réactions. Pour arriver à ce résultat, il a fallu étendre à ces liquides complexes les conclusions qui s'appliquaient aux solutions renfermant un, deux ou trois électrolytes et on a fait intervenir une notion nouvelle, celle du P_H.

Celle-ci fut proposée, pour la première fois, par le Suédois Sörensen en 1909, qui l'avait imaginée au cours des mesures très précises d'acidité ou d'alcalinité sur des liquides organiques. Le P_H d'un liquide est le logarithme vulgaire de l'inverse de sa concentration en ions H^+. Il mesure avec précision l'alcalinité ou l'acidité des solutions aqueuses. Il varie en effet d'une façon continue de 0 à 14 ; pour la valeur 7, la solution est neutre ; elle est acide pour les valeurs inférieures et alcaline pour les valeurs supérieures, le degré d'alcalinité ou d'acidité étant d'autant plus grand qu'on s'éloigne de la valeur 7.

2. Dissociation électrolytique. — Rappelons que dans un électrolyte, même avant le passage de tout courant, il existe des ions séparés porteurs de charges électriques. Dans une solution d'acide chlorhydrique, par exemple, on trouve, en plus des molécules neutres HCl, des ions Cl^- ou anions et des ions H^+ ou cations ; 35,5 g (1) des premiers portent une charge électrique négative de 96 500 coulombs, tandis que 1 g des seconds portent une charge égale et de signe contraire. C'est d'ailleurs à cause de la présence de ces ions libres que le courant peut passer à travers la solution lorsqu'on produit l'électrolyse.

(1) E. Lemaire. *Le Génie civil*, 14 et 21 septembre 1929, t. xcv, p. 247-250 et 270-272, 7 000 mots, 3 tableaux.

(1) Poids atomique du chlore.

En réalité, ces éléments libres ne sont ni des molécules, groupements saturés renfermant deux atomes, ni des atomes de chlore et d'hydrogène ayant de plus que les molécules toute leur affinité chimique disponible, mais bien des atomes chargés d'une quantité considérable d'électricité (1). Celle-ci leur confère des propriétés particulières et ils sont tout à fait différents des éléments chlore et hydrogène libres que nous connaissons.

L'énergie d'un électrolyte sera d'autant plus grande qu'il est plus dissocié en ions, plus ionisé. C'est pour cela que l'acide chlorhydrique est plus fort que l'acide sulfurique qui se dissocie en ions H^+ et SO^4H^- moins nombreux et celui ci à son tour plus fort que l'acide acétique qui se dissocie en ions H^+ et $(CH^3CO^2)^-$, moins nombreux encore.

Signalons que lorsqu'on prend des solutions équivalentes de ces acides en solution (solutions renfermant 1 molécule-gramme d'acide par litre et par conséquent comparables entre elles) et qu'on les fait agir sur du zinc il y a dégagement d'hydrogène ; mais la quantité de ce gaz libérée pendant le même temps est plus grande avec l'acide chlorhydrique et plus faible avec l'acide acétique. On possède là un moyen pour mesurer, à un facteur près, le nombre d'ions H^+ contenus dans ces trois acides.

On appelle degré de dissociation le rapport a du nombre de molécules dissociées au nombre total des molécules. La valeur de a peut se déduire d'observations faites en cryométrie ou en ébulliométrie (études des points de congélation et des points de fusion des corps).

Ces observations permettent en effet de déterminer le coefficient i exprimant combien de fois la concentration (nombre de molécules-grammes contenues dans un litre) est augmentée par suite de la présence des ions. Si n est le nombre d'ions donnés par une molécule dissociée on a, en effet

$$i = 1 - a + na = 1 + (n - 1)\,a,$$

d'où l'on tire

$$a = \frac{i - 1}{n - 1}.$$

Le degré de dissociation a varie avec la concentration, la force des acides et la température. La force peut se mesurer par la *constante de dissociation* K qui est donnée par l'expression

$$K = \frac{c_1 c_2}{c},$$

dans laquelle c_1 est la concentration en ions H^+ quand l'équilibre est établi ; c_2, la concentration en ions Cl^- au même moment et c la concentration en molécules HCl non dissociées. Cette dernière est évidemment fonction de la concentration C avant dissociation et de a

$$c = C(1 - a).$$

Pour le cas de l'acide chlorydrique, on a

$$c_1 = c_2 = Ca,$$

d'où

$$K = \frac{Ca^2}{1 - a}.$$

Cette relation, due à Ostwald, montre que a augmente quand C diminue, en tendant vers 1 pour $C = 0$. Les solutions sont donc alors presque complètement dissociées (1).

Pour l'acide chlorhydrique, par exemple, on a les variations suivantes de a, la deuxième colonne verticale correspondant à la solution normale

C	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
a	0,16	0,79	0,92	0,97	0,99

Pour la solution normale, les trois quarts des molécules de cet acide sont donc dissociées et c'est pour cette raison que l'acide chlorhydrique est un acide fort. Pour l'acide acétique, au contraire, la valeur de a est très faible et dans la solution normale 4 pour 1 000 seulement des molécules sont dissociées. On s'explique la différence d'action de ces deux acides en comparant les valeurs ci dessus à celles que nous donnons ci-après et qui correspondent à l'acide acétique.

C	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
a	0,0031	0,004	0,013	0,041	0,12	0,34

3. Classification des acides et des bases. — Les considérations précédentes, appliquées aux différents acides, permettent de les classer dans un certain ordre qui donne les valeurs suivantes pour K lorsqu'on le prend égal à 1 pour l'acide chlorhydrique.

Acide azotique	1,01
Acide chlorhydrique	1,00
Acide chlorique	0,98
. . . . .	
Acide fluorhydrique	0,05
Acide acétique	0,03

Pour les bases, tout se passe d'une façon identique en considérant l'anion $(OH)^-$ à la place du cation H^+. En particulier, le degré de dissociation des bases fortes varie à peu près de la même manière que celui des acides forts.

L'eau pure est très peu ionisée. On a pu montrer qu'à la température ordinaire, une molécule sur 10 millions était seulement dissociée.

Cette concentration 10^{-7} échappe complètement à l'analyse chimique. D'autre part, comme il y a dans les molécules ionisées autant d'ions H^+ que d'ions $(OH)^-$; l'eau n'est ni acide ni basique, elle est neutre. Les concentrations c_1 et c_2 étant égales, on a

$$c_1 c_2 = 10^{-14};$$

si on ajoute une solution basique pour laquelle la concentration en ions H^+, $c_1 = 10^{-6}$, par exemple, il faudra donc, pour que la relation précédente soit satisfaite, que $c_2 = 10^{-8}$. On peut exprimer ceci en disant que la solution est moins acide que l'eau et cela revient à considérer les bases comme des acides négatifs.

En tenant compte de $c_1 = c_2 = Ca$, les équations indiquées plus haut donnent

$$K = \frac{ac_1}{1 - a},$$

d'où

$$\frac{1}{c_1} = \frac{1}{K}\,\frac{a}{1 - a},$$

(1) Le calcul montre que pour séparer 1 mm³ d'ions Cl^- placés à 1 cm de leurs ions correspondants H^+ il faudrait développer une force de 10^{13} dynes, soit 10 000 t.

(1) On constate en effet que diverses solutions de sels de cuivre qui sont respectivement bleue, verte, brune et bleu violacé deviennent toutes bleu clair (couleur de l'ion Cu^{++}) lorsqu'on leur ajoute une quantité d'eau suffisante.

et en passant aux logarithmes

$$\log \frac{1}{c_1} = P_H = \log \frac{1}{K} + \log \frac{a}{1-a}.$$

Pour les diverses concentrations, on obtient les valeurs suivantes du P_H

CONCENTRATION en ions H+	CONCENTRATION en ions OH−	P_H	SOLUTIONS
—	—	—	—
1	10^{-14}	0	Normale d'acide fort
10^{-1}	10^{-13}	1	Décinormale d'acide fort
10^{-2}	10^{-12}	2	Centinormale d'acide fort
.....	.....	.....	.....
10^{-7}	10^{-7}	7	Neutre ou eau pure
.....	.....	.....	.....
10^{-12}	10^{-2}	12	Centinormale de base forte
10^{-13}	10^{-1}	13	Décinormale de base forte
10^{-14}	10^{0}	14	Normale de base forte

Cette conception du P_H est très pratique pour représenter graphiquement les phénomènes chimiques en fonction de l'acidité. Son seul inconvénient est que le P_H croît quand la concentration décroît.

On peut, évidemment, avoir des valeurs intermédiaires; les valeurs correspondantes de la concentration s'en déduisent facilement. C'est ainsi, par exemple, que le $P_H = 7{,}64$ correspond à une concentration en ions H^+ de

$$10^{-7} \times (1 - 0{,}64) \quad \text{ou} \quad 2{,}3 \times 10^{-8}.$$

Voici, à titre d'indication, quelles sont les valeurs du P_H, à 18°C pour les acides et bases usuels en solutions décinormales (valeurs à 1 dixième près)

Acides :		
	Acide chlorhydrique	1
	Acide phosphorique	1,5
	Acide acétique	2,9
	Acide carbonique	3,8
	Acide borique	5,2
	Acide phénique	7
Bases :		
	Aniline	7,8
	Carbonate acide de sodium	8,4
	Borate de sodium	9,2
	Ammoniaque	11,3
	Carbonate neutre de sodium	11,6
	Soude	13,1

Il convient de remarquer que le carbonate acide et le carbonate neutre de sodium sont de véritables bases, ces noms *acide* et *neutre* étant introduits en chimie par la notion de « fonction acide » (présence dans la formule du corps du symbole H remplaçable par celui d'un métal). L'auteur fait remarquer que cette désignation n'est pas heureuse et que la notion du P_H a justement l'avantage de ne pas faire rentrer dans le langage scientifique des mots ayant un autre sens dans le langage usuel et d'éviter, par suite, toute confusion fâcheuse.

4. Cas des solutions complexes. — Le phénomène se complique lorsque plusieurs électrolytes sont en présence. L'équilibre est toujours obtenu et il est toujours fonction de la concentration de chaque électrolyte; on peut le déterminer par application des formules indiquées plus haut. Toutefois cela conduit parfois à des calculs assez longs et délicats, car il faut tenir compte des ions communs que peuvent contenir les différents électrolytes. Disons cependant que dans tous les cas où ce calcul a été fait, ses résultats ont toujours été vérifiés par l'expérience. Enfin, dans certains cas, les calculs peuvent être simplifiés ou même évités; c'est ainsi que dans les solutions très diluées les ions se comportent souvent comme s'ils étaient seuls et il est possible de mettre en évidence les propriétés qui leur correspondent.

Les cas les plus courants de solutions complexes sont les suivants :

a) Lorsqu'on a en présence un acide fort et un acide faible, la dissociation porte presque exclusivement sur l'acide fort;

b) Le mélange d'une base forte et d'une base faible donne un résultat tout à fait analogue.

Ces deux cas se présentent en particulier pour les réactifs colorés. En utilisant des changements de coloration dans l'un et l'autre cas, on a pu constituer une gamme d'indicateurs dont chaque terme correspond à des valeurs de P_H depuis 0 jusqu'à 14 environ;

c) Si un acide fort, ou une base forte, est en présence de l'un de ses sels, il sont tous deux fortement dissociés et leur mélange, qui ne change pas leur concentration, diminue seulement leur degré de dissociation respectif;

d) Lorsqu'il s'agit d'un acide faible, ou d'une base faible, en présence de l'un de ses sels, on constate des propriétés intéressantes : la valeur du P_H reste constante quelle que soit la dilution; c'est ainsi que le P_H d'un mélange d'acide acétique et d'acétate de soude ne varie que de 0,08 quand il est dilué au vingtième. Ce P_H ne varie même pas quand on ajoute une petite quantité d'acide ou de base.

Ceci s'applique aussi au cas d'une base faible et de son sel avec un acide fort et à celui d'un acide faible ou de son sel avec une base forte.

Ces solutions étudiées pour la première fois en 1900 sont, chez nous, appelées *solutions tampons*. Elles ont un grand intérêt, car ajoutées à une solution, elles s'opposent aux variations brusques de son acidité et agissent entre des limites très étendues de la dilution. Elles ont un effet stabilisateur.

On saisit d'ailleurs toute l'importance de ces solutions par le fait qu'il n'est possible de mesurer avec précision le P_H d'un électrolyte que dans une solution de ce genre, car si l'on opère autrement, la présence d'une trace d'acide (acide carbonique de l'air) ou d'alcali (provenant du verre du récipient) pourra faire varier notablement ce P_H.

Presque tous les liquides organiques sont des solutions tampons. Parmi les autres, citons les phosphates dans la solution de sucre brut, les carbonates dans les eaux naturelles, l'alun et la résine dans les solutions d'encollage du papier, etc.

5. Détermination directe du P_H en laboratoire. — On opère avec des solutions tampons et des indicateurs colorés dont on a, à l'heure actuelle, une gamme très étendue. Au moyen de mélanges de ces indicateurs, on obtient une gamme qui s'étend depuis $P_H = 3$ jusqu'à $P_H = 11$ par gradins de 0,5, la couleur variant depuis le rouge jusqu'au violet dans l'ordre des couleurs du spectre. Ceci permet une première détermination. On opère ensuite par comparaison avec des solutions tampons dont le P_H varie par gradins de plus en plus faibles : 0,2, puis 0,05, 0,02 et 0,01 pour des limites assez rapprochées. Les déterminations à 0,01 près peuvent être faites directement et assez rapidement. Pour obtenir une grande approximation, il faut disposer d'une chambre noire et d'un appareillage spécial.

Quand la détermination doit être faite sur des liquides troubles, il faut recourir à la méthode électromagnétique.

6. Signification du P_H. — Il faut distinguer, dans une solution, l'acidité totale qui tient compte non seulement des ions existant réellement dans la solution, mais aussi de ceux qui existent, à l'état potentiel, dans les molécules non encore dissociées, et l'acidité libre qui ne dépend que des premiers. Pendant près d'un siècle la chimie s'est contentée des indications globales que fournit la titrimétrie. Ce n'est que depuis peu d'années qu'elle se préoccupe d'estimer quelle est à chaque moment la valeur des forces chimiques en présence dans une solution C'est là justement le rôle du P_H qui permet de déterminer cette valeur, qui dépend de l'ionisation.

L'auteur termine le présent article en reproduisant deux comparaisons dues à Ramsay sous la forme que M. R. Legendre leur a donnée dans son ouvrage sur la question (1). Ces comparaisons ont pour but de bien faire saisir la différence entre les mesures de quantité et les mesures d'activité, ces dernières prenant une importance de plus en plus grande en chimie et étant considérablement simplifiées par l'introduction de la notion du P_H. — B. E.

Rayonnement ultraviolet du soleil et du tungstène incandescent (2).

Les auteurs se sont proposé de comparer le rayonnement ultraviolet du soleil et des lampes à incandescence au tungstène dans le but de se rendre compte si l'énergie transmise par ces dernières dans cette région du spectre était nuisible au point de vue thérapeutique, ou utile, ou insuffisante.

1. Energie rayonnée par le tungstène — Weinger et Pfund ont étudié la partie infrarouge du spectre du tungstène; Hulburt a étudié plus spécialement la région de l'ultraviolet pour des longueurs d'onde descendant jusqu'à 0,34 μ et des températures du métal allant jusqu'à 3400°K. La région intéressante réside aux alentours de 0,30 μ: c'est en effet celle des rayons « vitaux » qu'on suppose remplir un rôle de premier plan dans le développement et la santé des végétaux et animaux. On connait donc la distribution spectrale de l'énergie rayonnée par le tungstène depuis l'ultraviolet de très courte longueur d'onde jusqu'à l'infrarouge extrême, vers les grandes longueurs d'onde.

On ne sait pas encore très bien quelle intensité et quelle longueur d'onde doivent avoir les rayons ultraviolets pour produire des effets thérapeutiques. Maughan a donné récemment des résultats intéressants sur le traitement du rachitisme chez les poulets par les rayons ultraviolets; ce sont les rayons d'une longueur d'onde voisine de 0,295 μ qui sont les plus efficaces; pour une longueur d'onde de 0,312 μ l'efficacité est nulle. La région des rayons « vitaux » a donc été située entre 0,31 et 0,29 μ. Pour ce qui est de la quantité d'énergie nécessaire, on admet généralement que le soleil en envoie suffisamment, même l'hiver, pourvu qu'une partie suffisante du corps soit exposée à son action et que le traitement ait lieu dans une atmosphère très pure; l'atmosphère au voisinage des grandes villes arrête presque entièrement la propagation des rayons vitaux, de même que le verre à vitre ordinaire.

Il est intéressant de voir maintenant la quantité d'énergie transmise par le soleil dans la région des rayons vitaux.

2. Energie rayonnée par le soleil. — Elle a été étudiée, pour la région de l'ultraviolet qui nous intéresse particulièrement, par Fabry et Buisson et, pour des longueurs d'onde plus élevées, par Abbot. La quantité d'énergie qui atteint la Terre, pour une longueur d'onde de 0,29 μ, est environ un million de fois plus petite que pour 0,314 μ. Pour 0,29 μ elle est en effet pratiquement nulle, ce fait étant dû vraisemblablement à une absorption de l'atmosphère : c'est pourquoi la limite inférieure de 0,29 μ a été choisie plus haut pour les rayons vitaux. La quantité d'énergie ultraviolette reçue par centimètre carré de surface de la Terre en un point donné varie, comme on peut le prévoir, avec l'époque de l'année : ceci est dû, d'une part, à l'obliquité variable des rayons lumineux, d'autre part, à la longueur variable du chemin parcouru par ces rayons; le maximum d'énergie reçue a lieu pour le solstice d'été et le minimum, pour le solstice d'hiver.

Doit-on prendre comme terme de comparaison ce maximum ou ce minimum, ou bien une valeur intermédiaire? En général, dans un sanatorium, on ne prend pas les bains de soleil dans le milieu du jour pendant l'été, car les sujets pourraient être gravement brûlés, et il est montré, d'autre part, que le soleil d'hiver à Boston, aux Etats-Unis, envoie suffisamment de rayons vitaux pour prévenir le rachitisme chez les poulets.

La valeur moyenne de l'énergie reçue dans la région des rayons vitaux, par centimètre carré de la surface terrestre et par seconde est de 0,048 w; il semble que quelques heures par jour d'exposition à l'énergie ultraviolette doivent suffire pour bien des traitements thérapeutiques; en conséquence l'énergie moyenne indiquée plus haut semble être une très bonne valeur de référence.

3. Comparaison entre le soleil et le tungstène. — Sur des courbes montrant la répartition de l'énergie dans la région de l'ultraviolet pour le soleil et pour une lampe à incandescence, on constate que les filaments de tungstène permettent d'obtenir un rayonnement ultraviolet comparable à celui du soleil; si on fait la comparaison pour un même éclairement, elle est nettement en faveur du tungstène; pour la même énergie totale par centimètre carré il y a environ trois fois plus d'énergie ultraviolette entre 0,325 et 0,29 μ dans le cas de la lampe à incandescence de 900 w que dans le cas du soleil. En faisant usage de réflecteurs, avec les lampes au tungstène, la quantité d'énergie transmise pour chaque région du spectre augmente notablement. L'ampoule de la lampe qui a servi à ces mesure était en quartz.

Rappelons que c'est pendant les mois d'hiver que le besoin d'énergie ultraviolette se fait le plus sentir. Si les enfants, dans leurs salles de jeux ou de cours, étaient éclairés par des lampes à filament de tungstène et ampoules de quartz, les considérations précédentes montrent qu'ils pourraient bénéficier d'une quantité considérable de rayons « vitaux » sans être gênés par des éclairements trop intenses. Il faut se rappeler aussi qu'on peut exposer une portion beaucoup plus considérable du corps dans une pièce chauffée qu'au dehors, dans les mois d'hiver. Il est donc évident qu'il y a beaucoup à faire dans ce sens, aussi bien au point de vue des recherches thérapeutiques qu'à celui des mesures physiques. — F. F.

(1) R. Legendre. *La concentration des ions hydrogène de l'eau de mer*, édité par les Presses universitaires de France (1925).

(2) W.-E. Forsythe et Frances Christison. *General electric Review*, décembre 1929, t. XXXII p. 662-667, 4 000 mots, 8 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu

En vue de leur application à la récupération de l'énergie, l'auteur passe en revue les dispositifs de réglage de la vitesse des moteurs à courant continu connus sous les noms de Ward-Léonard, Boucherot et Brunswick, S. T. A. R., Seefehlner, Somaini, A. D. R , et quelques autres, dérivés des premiers et imaginés par lui à l'occasion de cette étude. Il en examine les conditions de fonctionnement et calcule pour chacun d'eux, pour la même puissance des moteurs considérés, les puissances maximum et moyenne à transformer au cours de la période d'intervention au démarrage et au freinage; ces éléments donnent une idée des pertes d'énergie qui en résultent. Il calcule encore les puissances fictives, normale et réduite, de l'ensemble des machines constituant le dispositif, puissances qui déterminent l'importance du dispositif considéré au point de vue de l'encombrement et du poids de matière. De tous ces systèmes, les dispositifs Somaini et A. D. R. paraissent les plus avantageux; le système Somàini est celui qui nécessite le groupe de réglage le plus léger, avantage accompagné de certains inconvénients pratiques, tandis que le système A. D. R. conduit à une réduction au minimum de l'énergie à transformer, d'où l'intérêt d'ordre économique de ce système.

I. **Dispositions générales**. — Le réglage de la vitesse des moteurs à courant continu employés à la traction, au levage, à l'extraction, au laminage, est assuré, ordinairement, au moyen de rhéostats placés en série avec l'induit de ces moteurs, ce qui produit une dissipation d'énergie parfois relativement considérable.

Pour réduire l'importance des résistances additionnelles ainsi que la quantité d'énergie dissipée, on se sert souvent de deux et parfois de quatre moteurs, au lieu d'un seul, et on les couple d'abord en série, puis en parallèle, s'ils sont au nombre de deux; et s'il y a quatre moteurs, on intercale, entre ces deux modes de couplage homogènes, un mode de couplage mixte bien connu.

Afin d'éviter que le couple développé par les moteurs ne s'annule momentanément par suite d'une rupture du courant qui les traverse, les résistances additionnelles sont diminuées progressivement par des dispositifs de mises en court-circuit successives. Et aux changements de couplage (qui ont lieu après complète mise en court-circuit ou suppression des résistances en série), il y a certains circuits à rompre et d'autres circuits à établir. Alors l'annulation du couple, ou la rupture du courant moteur, n'est supprimée qu'au prix d'artifices spéciaux.

Ainsi la figure 1 représente l'artifice dit du pont. M et N sont les deux moteurs, R et S, deux rhéostats subdivisés en plusieurs parties; H et K, deux commutateurs à deux contacts temporairement simultanés; I et J, deux commutateurs à contacts toujours séparés; Q, un conducteur de mise en série, et P est le pont permettant de passer du couplage en série au couplage en parallèle sans interrompre le courant moteur. Les figures 1 a à 1 e et leurs légendes montrent sommairement la série des opérations d'un démarrage, et, en détail, le fonctionnement du pont.

II. **Principes des dispositifs assurant le réglage de la vitesse et le freinage en récupération**. — La vitesse des moteurs de traction, de levage, d'extraction, de laminoirs, varie à plusieurs reprises en partant de zéro, pour s'élever à un niveau plus ou moins élevé et plus ou moins stable, et revenant ensuite à zéro. Le train, la charge, la cage d'extraction, le volant du laminoir, acquièrent une certaine force vive pendant l'augmentation de la vitesse, force vive qu'il faut détruire pendant le ralentissement au moyen d'un freinage mécanique et d'un freinage électrique.

On peut penser à utiliser d'une façon ou d'une autre une partie au moins de cette force vive et à récupérer de l'énergie électrique. Mais pour effectuer cette récupération au freinage, il faut se servir d'un dispositif capable de produire une tension variable que l'on puisse intercaler entre celle de la ligne d'alimentation et celle des moteurs fonctionnant alors comme générateurs. Dès lors, ce dispositif peut être employé également au réglage pendant le démarrage en remplacement des rhéostats indiqués plus haut, et l'on peut réaliser ainsi parfois un avantage secondaire.

On connait plusieurs dispositifs de ce genre, et s'ils ne sont pas plus communément employés en pratique, cela tient, selon leur disposition et selon l'application qu'on pourrait en faire, à leur encombrement, à leur poids, à la complication qu'ils introduisent dans l'installation, à leur prix, à leur rendement et au prix de l'énergie qu'il s'agit d'économiser.

Nous nous proposons de passer ici en revue un certain nombre de types de pareils dispositifs et de dégager, autant que possible, les caractéristiques principales respectives. Les types que nous examinerons plus particulièrement sont les suivants :

1° Les trois dispositifs Ward-Léonard que nous distinguerons par les désignations de primitif, de simple et de double ;

2° Les quatre dispositifs Boucherot et Brunswick, simples et doubles, qu'on peut dire à excitations droites et à excitations croisées ;

3° Deux dispositifs dérivés des précédents, simple et double, que nous dirons à excitation triple ;

4° Le dispositif S. T. A. R. (système de traction auto-régulateur) à dévolteur-survolteur ;

5° Le dispositif Seefehlner à double dévolteur ;

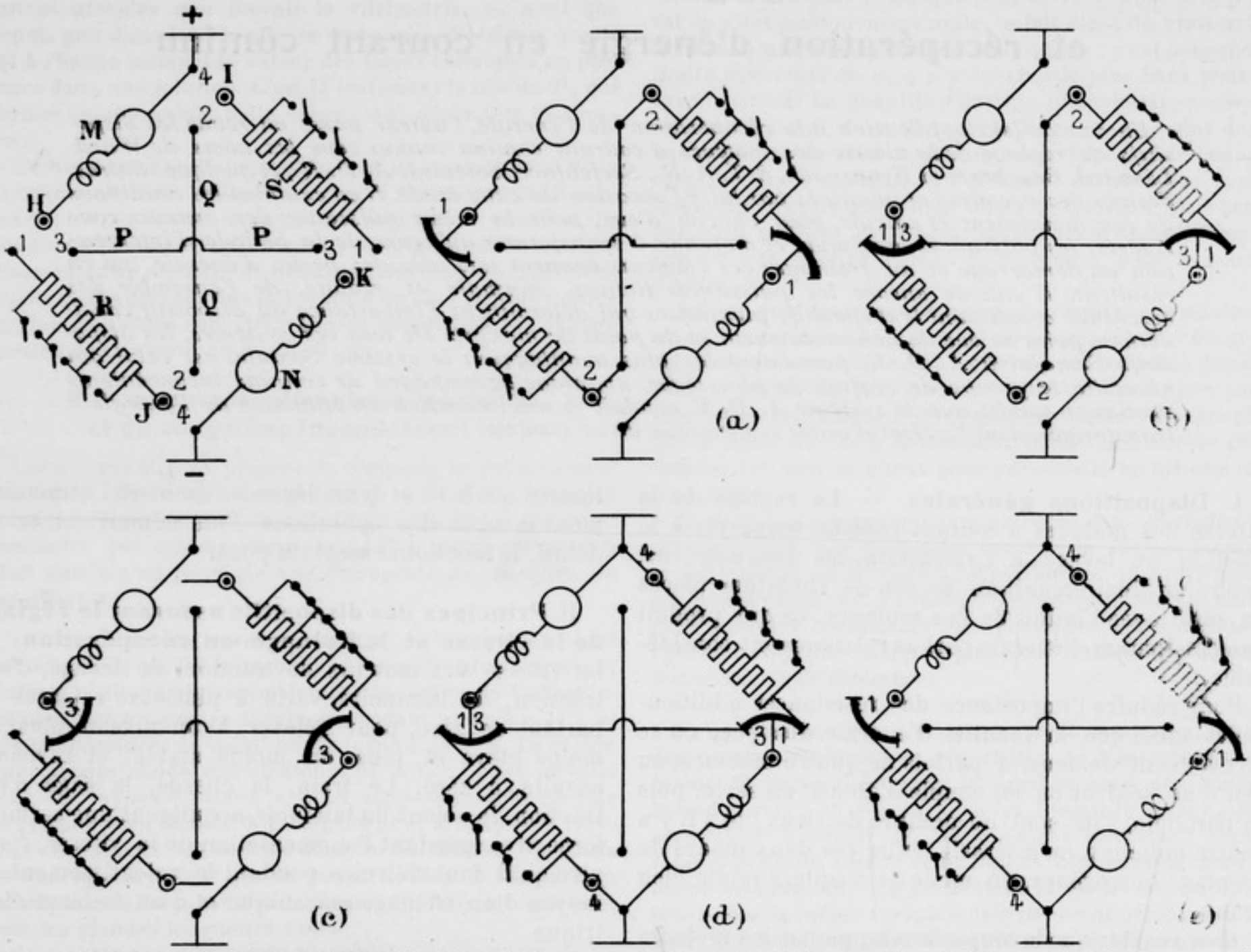


Fig. 1. — Schémas du dispositif dans diverses positions : a, Moteurs en série avec des résistances; b, Moteurs en série sans résistances; c, Etablissement du pont; d, Shuntage de moteurs; e, Rupture du pont, les moteurs étant en parallèle sur des résistances.

6° Les deux dispositifs Somaini à quatre et à trois collecteurs et une variante à trois collecteurs ;

7° Les deux dispositifs A della Riccia (A. D. R.) à trois et à quatre collecteurs.

Nous ne nous attarderons pas sur les moteurs équipés avec ces dispositifs, ni sur les manières de stabiliser leur fonctionnement comme générateurs pendant le freinage, cette étude visant exclusivement les dispositifs de réglage (1).

(1) M. Guery a publié, dans le *Bulletin de la Société française des Electriciens*, octobre 1927, t. VII (4e série), pages 1132 à 1202, une longue étude passant en revue la plupart des mêmes dispositifs, analysée dans la *Revue générale de l'Electricité*, 24 décembre 1927, t. XXII, p. 1091-1096 Comme notre intention est d'arriver ici à une comparaison essentiellement, sinon uniquement, numérique des différents systèmes, nous renvoyons le lecteur, pour l'étude des questions non examinées ici, au travail de M. Guery.

III. Propriétés générales des dispositifs examinés. — Pour le réglage de la vitesse, les moteurs, convenablement couplés, peuvent être connectés en série ou en parallèle avec une ou plusieurs armatures des machines composant le dispositif de réglage. Les tensions aux bornes de ces armatures doivent varier de manière que celles aux bornes des moteurs croissent pendant le démarrage et décroissent pendant le freinage. Selon le cas, toutes ces tensions varient, ou bien d'une manière progressive et sans discontinuités, ou bien par échelons uniformes ou différents. On réalise

ainsi un réglage continu ou un réglage par étapes. Un réglage continu peut être considéré comme un réglage à un nombre infini, ou au moins à un nombre très grand d'échelons.

Les dispositifs Boucherot et leurs dérivés, le dispositif S. T. A. R., donnent lieu à un réglage continu et automatique, les tensions des machines à autoexcitation dépendant directement de la force électromotrice développée dans les moteurs d'après leur vitesse actuelle.

Les dispositifs Ward-Léonard, Seefehlner, A. D. R., donnent lieu à un réglage discontinu, obtenu en manœuvrant des rhéostats de champ. Toutefois ce réglage peut être rendu automatique en assujettissant ces rhéostats à l'action de relais convenables. Dans ces dispositifs le nombre des échelons est arbitraire et le réglage peut devenir presque continu en multipliant les étapes.

Les dispositifs Somaini donnent lieu à un réglage discontinu, obtenu en changeant les connexions des moteurs au groupe de réglage à chaque étape. Les tensions disponibles sont fixes, en nombre limité. Le nombre des échelons et leur amplitude respective dépendent de l'organisation du dispositif et ne sauraient être modifiés.

Considérons la succession de tensions

$$0,\ V_1,\ V_2,\ V_3,\ \ldots,\ V_{n-2},\ V_{n-1},\ V_n = U,$$

(U étant la tension de la ligne) que les moteurs ont à parcourir dans l'ordre direct au démarrage et dans l'ordre inverse au freinage.

Si le dispositif permet d'appliquer aux bornes des moteurs les tensions extrêmes V_n et o, les moteurs pourront être branchés sur la ligne à la fin du démarrage, ou fermés en court-circuit franc à la fin du freinage, sans rupture de circuit, sans interruption de courant et sans suspension du couple moteur (au démarrage) ou résistant (au freinage).

Si le dispositif se borne à fournir une tension supérieure V_{n-1}, inférieure à U, ou une tension inférieure V_1, supérieure à zéro, la dernière opération du réglage s'accompagnera d'une rupture de circuit, avec toutes ses conséquences, à moins que ne soit mise momentanément en court-circuit une partie du dispositif présentant la tension complémentaire $U - V_{n-1}$ ou $V_1 - 0$, ce qui peut occasionner des inconvénients divers selon les circonstances.

Il est à remarquer que lorsque le dispositif fournit les tensions extrêmes U et o, il ne doit pas pour cela transformer plus d'énergie que lorsque ses tensions extrêmes sont V_{n-1} et V_1; car aussitôt que les moteurs, portés aux tensions U ou o par le dispositif, sont branchés sur la ligne d'alimentation ou fermés en court-circuit, ils cessent d'absorber du courant du réseau ou de lui en restituer ; autrement dit, le groupe de réglage devient ipso facto inactif.

IV. **Définitions et notations**. — Nous appellerons « puissance fictive » d'un dispositif la somme des produits de la tension maximum par le courant moyen quadratique relatif à chacun des éléments composant le dispositif, étendue à tous ses éléments composants. En raison de la remarque qui précède, chaque courant moyen quadratique sera le même, que ce dispositif puisse fournir ou non les tensions extrêmes U et o aux moteurs. Mais chaque tension pourra avoir deux valeurs distinctes selon que le dispositif peut permettre d'appliquer aux moteurs ces tensions extrêmes U et o, ou les tensions plus rapprochées V_{n-1} et V_1. Il s'ensuit que nous aurons à considérer une « puissance fictive normale » excluant toute rupture de courant, à la fin du démarrage ou à la fin du freinage, et une « puissance fictive réduite », nécessitant une rupture de courant à ces mêmes instants.

Nous désignerons par T la durée du démarrage ou du freinage supposé exécuté d'une manière continue entre les tensions extrêmes o et U. Un démarrage à n étapes uniformes de tension durera sensiblement $\frac{n-1}{n} T$ avant la connexion directe des moteurs à la ligne; il en sera de même pour un freinage à n étapes avant la fermeture des moteurs en court-circuit sur eux-mêmes. Pour avoir une signification relative certaine et que des comparaisons soient possibles, le courant moyen efficace devra toujours être calculé durant une même période; il est rationnel de le calculer sur la période complète T, bien que l'intervention du dispositif puisse durer moins longtemps dans le cas d'un démarrage ou d'un freinage à un nombre d'étapes limité.

Ce courant moyen efficace sera donc calculé d'après l'une ou l'autre des deux formules

$$J = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t=0}^{t=T} I^2 dt}, \quad J = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{n=1}^{n=n} I_n^2 T_n},$$

selon que le réglage sera continu ou à n étapes, avec

$$T = \sum_{n=1}^{n=n} T_n \quad \text{et} \quad I_n = 0,$$

en raison de la remarque faite plus haut.

Evidemment la « puissance fictive » définie comme nous venons de le faire n'est qu'un « indice » de l'importance matérielle du groupe de réglage; mais cet indice paraît rationnel, car, à vitesse de rotation constante, la tension maximum détermine l'importance de la section des circuits magnétiques et celle de la longueur des circuits électriques, et le courant moyen efficace détermine l'importance de la section des circuits électriques principaux. Du produit de ces deux grandeurs dépendent donc les dimensions de l'élément du dispositif auquel ils se rapportent et la somme de ces produits paraît bien en rapport avec celles du groupe complet.

Dans le cas du réglage continu la distinction entre « puissance fictive normale » et « puissance fictive réduite » disparaît.

Nous supposerons négligeables les pertes intérieures

des moteurs et le démarrage ainsi que le freinage opérés à courant constant. Dans ces conditions la vitesse procédera proportionnellement à la tension

$$v_m - v_{m-1} = h\,(V_m - V_{m-1}),$$

et le couple moteur ou résistant sera sensiblement constant.

Nous supposerons encore négligeables les résistances passives au mouvement, pour ne considérer que les variations de force vive du train, de la charge, de la cage ou du volant mis en mouvement. Dans ces conditions, l'accélération positive ou négative due au couple moteur ou résistant constant sera constante.

Il s'ensuit que la durée T_m d'un temps quelconque du réglage sera sensiblement proportionnelle au saut de tension correspondant

$$T_m = \frac{(v_m - v_{m-1})}{a} = \frac{h}{a}(V_m - V_{m-1}).$$

Remarquons que le choix de la période T est sans influence sur les résultats des comparaisons des moyennes ; car, si, à la place d'une période T, on en considère une autre quelconque T', la nouvelle moyenne linéaire se déduit de la précédente en la multipliant par $\frac{T'}{T}$, et la nouvelle moyenne quadratique s'obtient de la précédente en la multipliant par la racine carrée de ce même rapport, de manière que les moyennes, tant linéaires que quadratiques, relatives à deux cas différents conservent toujours leurs rapports réciproques.

Les éléments que nous rechercherons pour comparer les différents dispositifs entre eux seront :

1° La valeur maximum W'_0 et la valeur moyenne W''_0 de la puissance effectivement transformée dans les différents organes du dispositif au cours de la période T, dont la durée pourra même être prise comme unité ;

2° La valeur de la puissance fictive du dispositif, indice de son importance matérielle (poids, encombrement, coût), tant dans le cas de dimensions normales (S) que dans le cas de dimensions réduites (S').

Ces éléments seront déterminés, autant que possible, pour les trois cas : de réglage continu ou avec un nombre de temps n très grand ; de réglage à huit temps ; de réglage à six temps.

Pour rendre plus accessible la comparaison, nous considérerons le cas de deux groupes de moteurs M et N (ou un moteur à deux enroulements induits et à deux collecteurs M et N) construits chacun pour la tension de 1 000 v et pour un courant de démarrage ou de freinage de 100 A. Le réglage à huit temps comportera des sauts de tension égaux de 125 v, et celui à six temps, des sauts de tension de 167 v environ. Nous verrons qu'il faudra faire une exception à cette règle pour le dispositif Somaini à trois collecteurs qui oblige à adopter une succession de tensions particulière, à sauts inégaux.

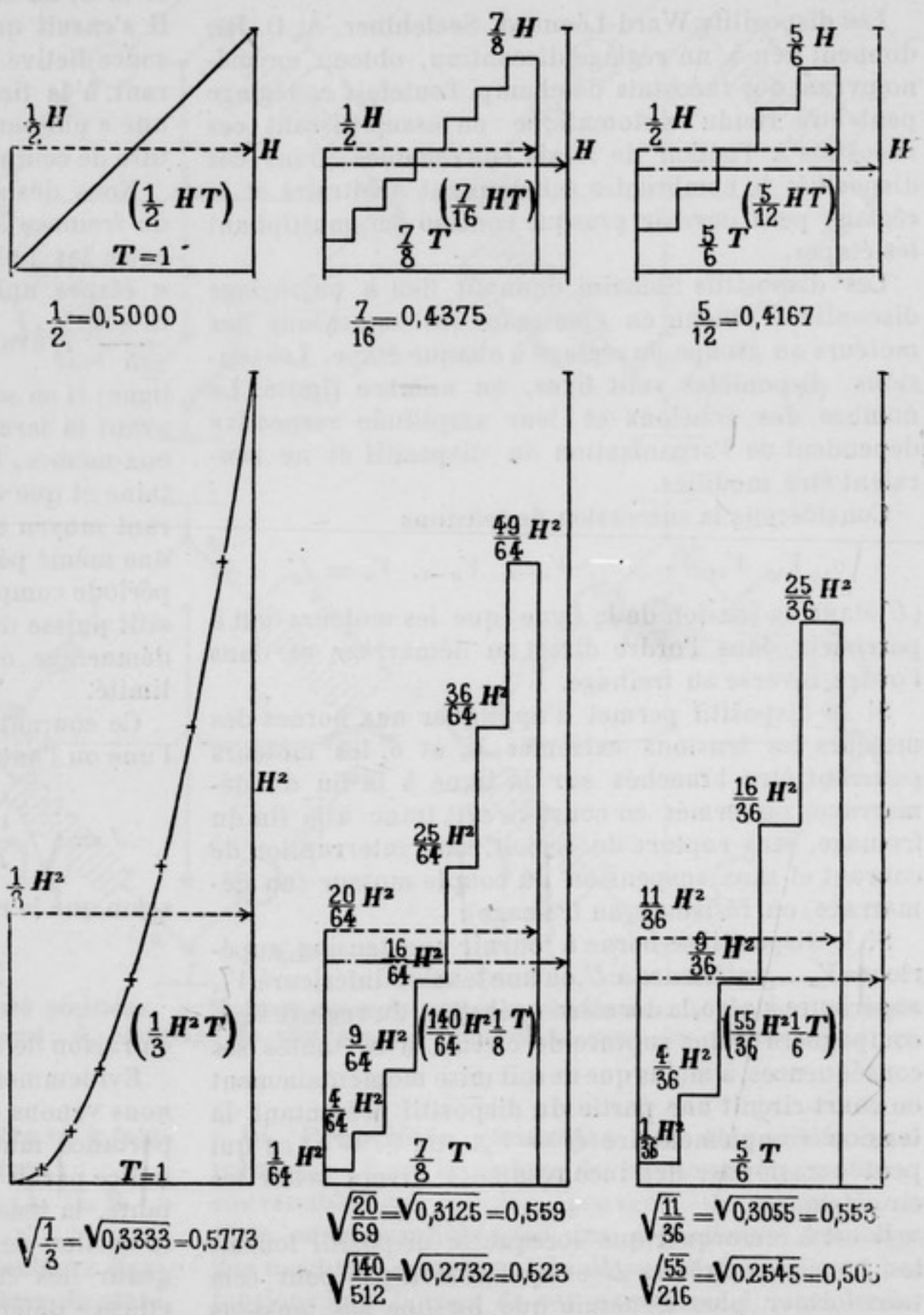


Fig. 2. — Diagrammes permettant de suivre le calcul des valeurs moyenne et efficace (ou valeurs moyennes linéaire et quadratique) d'une grandeur H variable pendant une période de durée T.

Avant de passer à la description sommaire de la constitution et du fonctionnement des différents types de dispositifs, il convient de résumer certains résultats numériques destinés à faciliter le calcul des éléments indiqués ci-dessus sous 1° et 2° (fig. 2).

Si une grandeur a une valeur constante H dans l'intervalle T, ses valeurs moyennes linéaire et quadratique sont encore H.

Si elle se maintient constamment égale à H dans l'intervalle $\frac{7}{8}T$ et s'annule le reste du temps $\left(\frac{1}{8}T\right)$, sa moyenne linéaire vaut

$$\frac{7}{8}H = 0{,}875\,H;$$

sa moyenne quadratique vaut

$$\sqrt{\frac{7}{8}H^2} = 0{,}935\,H.$$

Si elle se maintient constamment égale à H dans l'intervalle $\frac{5}{6}T$ et s'annule le reste du temps $\left(\frac{1}{6}T\right)$, sa moyenne linéaire vaut

$$\frac{5}{6}H = 0{,}833\,H;$$

sa moyenne quadratique vaut

$$\sqrt{\frac{5}{6}H^2} = 0{,}913\,H.$$

On voit bien que les deux moyennes diminuent quand le nombre des échelons diminue.

Si une grandeur varie linéairement de 0 à H ou inversement dans l'intervalle T, sa moyenne linéaire vaut

$$\frac{H}{2} = 0{,}500\,H;$$

sa moyenne quadratique vaut

$$\frac{H}{\sqrt{3}} = 0{,}577\,H.$$

Si elle varie linéairement par sauts de $\frac{1}{8}H$ à $\frac{7}{8}H$ dans l'intervalle $\frac{7}{8}T$ et s'annule le reste de la période, sa moyenne linéaire vaut

$$\left(\frac{1+2+3+4+5+6+7}{8\times 8}\right)H = \frac{28}{64}H = 0{,}4375\,H;$$

sa moyenne quadratique vaut

$$\sqrt{\left(\frac{1^2+2^2+3^2+4^2+5^2+6^2+7^2}{64\times 8}\right)H} = \sqrt{\frac{140}{512}}H = 0{,}523\,H.$$

Si elle varie linéairement par sauts de $\frac{1}{6}H$ à $\frac{5}{6}H$ dans l'intervalle $\frac{5}{6}T$ et s'annule le reste de la période, sa moyenne linéaire vaut

$$\left(\frac{1+2+3+4+5}{6\times 6}\right)H = \frac{15}{36}H = 0{,}4167\,H;$$

sa moyenne quadratique vaut

$$\sqrt{\left(\frac{1^2+2^2+3^2+4^2+5^2}{36\times 6}\right)H} = \sqrt{\frac{55}{216}}H = 0{,}505\,H.$$

On remarque que les deux moyennes diminuent encore lorsque le nombre des échelons diminue.

Nous indiquerons par A, B, C, D, E, respectivement les première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième machines constituant le dispositif en examen, et par

$$U_n,\ I_n,\ W_n;\ J_n,\ S_n,\ S'_n;$$

respectivement, les valeurs instantanées de la tension (en volts), du courant (en ampères), de la puissance (en kilowatts), la valeur moyenne quadratique du courant (en ampères) et les puissances fictives, normale et réduite, de la $n^{\text{ième}}$ machine, aux dimensions normales ou aux dimensions réduites.

En outre, W_0, W'_0 et W''_0 indiqueront les valeurs instantanée, maximum et moyenne de la puissance transmise par l'arbre (ou les arbres) du groupe de réglage, et qui constitue la puissance réellement transformée (d'une manière ou d'une autre) à l'intérieur du groupe en question.

Ces puissances ne coïncident généralement pas avec les puissances analogues absorbées ou débitées simultanément par les moteurs M et N. Et les pertes dans le groupe dépendent de ces puissances W_0, W'_0 et W''_0, et non pas des puissances analogues relatives aux moteurs.

V. Dispositif Ward-Léonard. — 1. Description du dispositif primitif. — Ce dispositif est constitué par un groupe de deux machines A et B, dont la première est branchée sur la ligne d'alimentation, alors que la seconde est connectée aux moteurs principaux M et N.

1° *Réglage continu.* — Au démarrage (partie contrôlée) : A est motrice ;

$$U_1 = 1\,000\text{ v};\quad I_1 = 0 \text{ à } -200\text{ a};$$

$$W_1 = 0 \text{ à } -200\text{ kw};\quad J_1 = 115{,}5\text{ a}.$$

B est génératrice ;

$$U_2 = 0 \text{ à } 1\,000\text{ v};\qquad I_2 = 200\text{ a};$$

$$W_2 = 0 \text{ à } 200\text{ kw};\qquad J_2 = 200\text{ a}.$$

Au freinage (partie contrôlée) : A est génératrice ;

$U_1 = 1\,000$ v ; $I_1 = 200$ à 0 a ;
$W_1 = 200$ à 0 kw ; $J_1 = 115{,}5$ a.

B est motrice ;

$U_2 = 1\,000$ à 0 v ; $I_2 = -200$ a ;
$W_2 = -200$ à 0 kw ; $J_2 = 200$ a.

Le passage du démarrage au freinage amène : 1° à renverser le sens des variations des tensions, des courants et des puissances variables (en valeur absolue) ; 2° à changer le signe des courants et des puissances.

C'est là un fait constant qui nous dispensera dorénavant d'étudier successivement les deux opérations. On a, dans l'une comme dans l'autre opération,

$$W'_0 = 200 \text{ kw}, \quad W''_0 = 100 \text{ kw},$$
$$S = S_1 + S_2 = 1\,000 \times 115{,}5 + 1\,000 \times 200$$
$$= (115{,}5 + 200)\,1\,000 \text{ w} = 315{,}5 \text{ kw}.$$

2° *Réglage à huit temps.* — Au démarrage (partie contrôlée) : A est motrice ;

$U_1 = 1\,000$ v ; $I_1 = -25$ à -175 a ;
$W_1 = -25$ à -175 kw ; $J_1 = 104{,}5$ a.

B est génératrice ;

$U_2 = 125$ à 875 v ; $I_2 = 200$ a ;
$W_2 = 25$ à 175 kw ; $J_2 = 187{,}1$ a.
$W'_0 = 175$ kw, $W''_0 = 87{,}5$ kw,

$S = 1000 \times 104{,}5 + 1000 \times 187{,}1 = (104{,}5 + 187{,}1)\,1000$ w
$= 291{,}6$ kw ;

$S' = 1000 \times 104{,}5 + 875 \times 187{,}1 = (104{,}5 + 164{,}0)\,1000$ w
$= 268{,}5$ kw.

3° *Réglage à six temps.* — Au démarrage (partie contrôlée), A est motrice ;

$U_1 = 1\,000$ v ; $I_1 = -33{,}3$ à $-166{,}7$ a ;
$W_1 = -33{,}3$ à $-166{,}7$ kw ; $J_1 = 101{,}0$ a.

B est génératrice ;

$U_2 = 166{,}7$ à $833{,}3$ v ; $I_2 = 200$ a ;
$W_2 = 33{,}3$ à $166{,}7$ kw ; $J_2 = 182{,}6$ a ;
$W'_0 = 166{,}7$ kw, $W''_0 = 83{,}3$ kw ;

$S = 1000 \times 101{,}0 + 1000 \times 182{,}6 = (101{,}0 + 182{,}6)\,1000$ w
$= 283{,}6$ kw ;

$S' = 1000 \times 101{,}0 + 833{,}3 \times 182{,}6 = (101{,}0 + 152{,}2)\,1000$ w
$= 253{,}2$ kw.

En résumé, on obtient

Valeurs de n	très grande	huit	six
W'_0, en kilowatts ...	200,0	175,0	166,7
W''_0, id ...	100,0	87,5	83,3
S, id ...	315,5	291,6	283,6
S', id ...	315,5	268,5	253,2

On distingue bien l'influence du nombre n des temps de réglage sur toutes les puissances qu'il y a lieu de considérer dans le dispositif de réglage.

2. Description du dispositif Ward-Léonard simple. — Ce dispositif (fig. 3), un peu plus spécial que le précédent, est constitué par un groupe de deux machines coaxiales

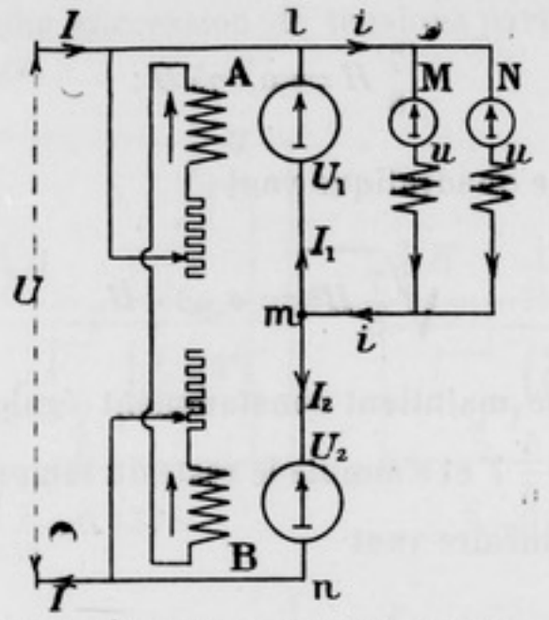


Fig. 3. — Schéma du dispositif Ward-Léonard simple.

dont les deux armatures sont connectées en série sous la tension de la ligne d'alimentation. Allant du pôle positif au pôle négatif de celle-ci, le dispositif présente trois bornes l, m, n, entre lesquelles s'intercalent les deux armatures A et B.

Les moteurs M et N, que nous supposerons reliés en parallèle, sont branchés entre l et m, en parallèle avec l'armature A, en série avec l'armature B.

Considérons seulement le démarrage.

1° *Réglage continu, à huit temps, à six temps.* — A est génératrice ;

U_1 varie de 0 à 1 000, ou de 125 à 875, ou de 167 à 833 v ;

I_1 varie de 200 à 0, ou de 175 à 25, ou de 167 à 33 a ;

W_1 varie paraboliquement ainsi : 0 ; 50 ; 0 kw, ou bien 21,9 ; 50 ; 21,9 kw, ou bien 27,9 ; 50 ; 27,9 kw ;

J_1 est égal à 115,5, ou 104,5, ou 101,0 a ;

B est motrice :

U_2 varie de 1 000 à 0, ou de 875 à 125, ou de 833 à 167 v ;

I_2 varie de 0 à -200, ou de -25 à -175, ou de -33 à -167 a ;

W_2, à part le signe, varie comme W_1 ;

J_2 est égal à 115,5, ou 104,5, ou 101,0 a.

On a donc, tous calculs soigneusement faits,

Valeurs de n.	très grande	huit	six
W'_0, en kilowatts ...	50,0	50,0	50,0
W''_0, id ...	33,3	34,1	32,4
S, id ...	231,0	209,0	202,0
S', id ...	231,0	182,6	168,2

3. Description du dispositif Ward-Léonard double. — Ce dispositif (fig. 4), plus complexe que le précédent, est constitué par deux groupes de deux machines, ana-

logues au précédent, solidaires ou non, fonctionnant en parallèle. Le premier groupe, comprenant les armatures A et B, présente trois bornes l, m, n ; le second, comprenant les armatures C et D, présente trois bornes

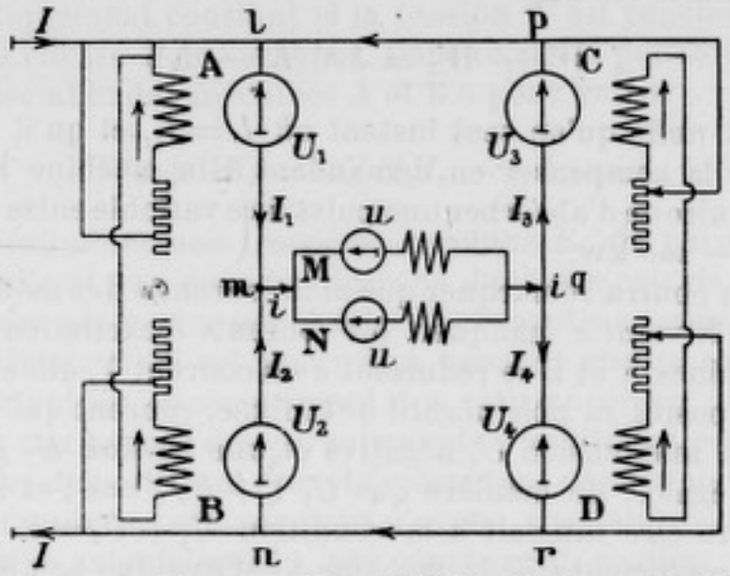


Fig. 4. — Schéma du dispositif Ward-Léonard double.

p, q, r. Les bornes l et p sont raccordées au pôle positif, et les bornes n et r au pôle négatif de la ligne. Les moteurs M et N, que nous supposerons toujours en parallèle entre eux, sont branchés entre les bornes de milieu m et q.

Si les quatre tensions U_1, U_2, U_3, U_4, sont toutes égales à 500 v, les moteurs ne reçoivent aucune tension ; mais si, en volts,

$$U_1 = U_4 = 500 - v \quad \text{et} \quad U_2 = U_3 = 500 + v,$$

alors la tension de la borne m dépasse de $2v$ volts celle de la borne q, et un courant s'achemine de m vers q à travers les moteurs M et N.

Le réglage consiste dans la diminution progressive des tensions U_1 et U_4 jusqu'à 0, ou 62,5 ou 41,7 v, et dans l'augmentation progressive des tensions U_2 et U_3 jusqu'à 1 000, ou 937,5, ou 958,3 v, selon la valeur de n.

Au cours du démarrage, les machines A et D sont motrices, les machines B et C, génératrices. On trouve

Valeurs de n.	très grande	huit	six
W'_0, en kilowatts...	100,0	98,4	97,2
W''_0, id ...	66,7	60,2	57,9
S, id ...	268,1	246,8	240,4
S', id ...	268,1	222,6	208,4

4. Comparaison des résultats obtenus avec les divers dispositifs Ward-Léonard. — On voit que, sous tous les point de vue, des trois dispositifs Ward-Léonard, le plus avantageux est le dispositif que nous avons dénommé simple, aussi est-ce le seul qu'on ait adopté en pratique. Le dispositif que nous avons dit primitif a été employé parfois, mais avec la machine à courant polyphasé. Il constitue alors un convertisseur régulateur. Le dispositif double permet de faire encore, en volts,

$$U_1 = U_4 = 500 + v \quad \text{et} \quad U_2 = U_3 = 500 - v,$$

ce qui change le signe de la différence de tension entre les bornes de milieu m et q et le sens du courant dans les moteurs M et N. Aussi, ce groupe peut servir à un réglage avec changement de sens de marche des moteurs, sans changement de connexions entre moteurs et groupe.

Il est à remarquer que, comme dans ce dispositif double, on doit avoir constamment $U_1 = U_4$, $U_2 = U_3$, $I_1 = I_4$, $I_2 = I_3$, les machines A et D peuvent se réduire à une première armature, portant deux enroulements égaux aboutissant à deux collecteurs égaux, et tournant entre les pôles d'un premier système inducteur, et les machines B et C, à une seconde armature, agencée comme la première, et tournant entre les pôles d'un second système inducteur semblable au premier. On obtient ainsi un groupe très compact. Cette circonstance voudrait qu'à la rigueur on appliquât un coefficient inférieur à 1 aux indices S et S' relatifs aux groupes doubles symétriques, si on garde les valeurs calculées pour ces indices relatifs aux groupes simples.

Dans tous les dispositifs Ward-Léonard, les machines sont amenées à fonctionner comme génératrices au démarrage et comme motrices au freinage, ou inversement. Pour ne pas avoir à déplacer les balais, il faut que ces machines possèdent toutes un enroulement compensateur annulant constamment la réaction d'induit, qui autrement changerait de sens.

Le dispositif Ward-Léonard simple peut être rendu symétrique (fig. 5) en dédoublant la machine B qui fonctionne comme motrice au démarrage et comme

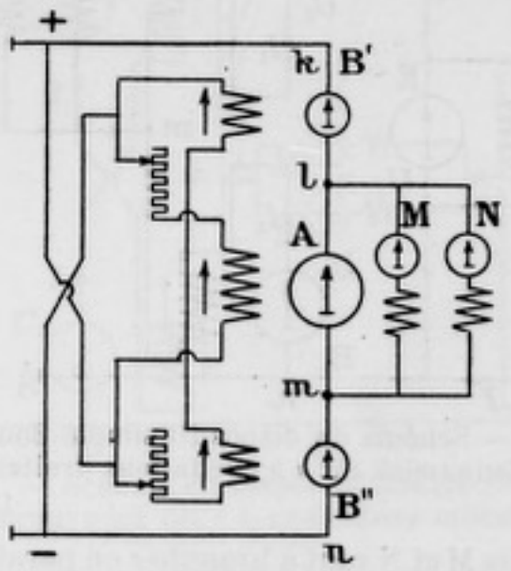


Fig. 5. — Schéma du dispositif Ward-Léonard simple rendu symétrique.

génératrice au freinage, et en plaçant la machine A entre les deux machines B' et B" remplaçant la machine B. On a ainsi quatre bornes k, l, m, n, et les moteurs M et N doivent être connectés entre les bornes intermédiaires l et m. Aucune des quatre caractéristiques W'_0, W''_0 S, S' du dispositif n'est modifiée par ce dédoublement. Les deux armatures B' et B" peuvent se confondre en une seule, à deux enroulements induits et à deux collecteurs, tournant entre les pôles d'un inducteur unique.

Remarque. — Les figures 3 à 10 sont établies de telle façon que les directions des courants inducteurs coïncident avec les directions des tensions qu'ils doivent induire.

VI. **Dispositifs Boucherot et Brunswick et dérivés.** — 1. Généralités. — Ces dispositifs ont une certaine analogie avec les dispositifs Ward-Léonard simple et double. Dans ces dispositifs Ward-Léonard le réglage des tensions des machines A et B, dans le groupe simple, ou des machines A et D, d'une part, et des machines B et C, d'autre part, dans le groupe double, est fait au moyen d'excitations shunt avec deux rhéostats de champ conçus en conséquence, que l'on peut éventuellement « conjuguer » de manière qu'ils donnent toujours lieu à des tensions complémentaires

$$U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = 1\,000 \text{ v.}$$

Dans les dispositifs Boucherot et dérivés les machines A et B ou A, B, C, D, selon le cas, sont excitées en série et travaillent toujours en deçà du coude de la courbe de saturation magnétique (courbe de Hopkinson).

2. Description du dispositif simple. — Dans le dispositif simple que nous dirons « à excitations droites » (fig. 6), la tension positive U_1 est due au courant « positif » I_1, et la tension positive U_2 est due au courant « négatif » I_2,

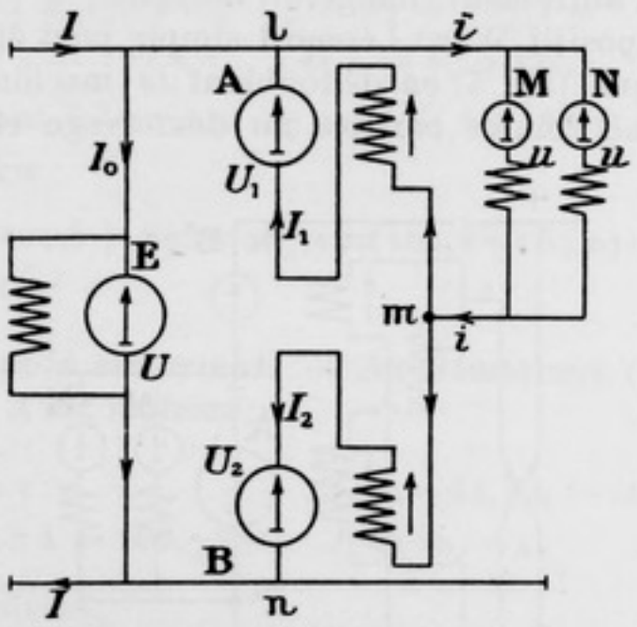


Fig. 6. — Schéma du dispositif simple Boucherot et Brunswick dit « à excitations droites ».

si les moteurs M et N sont à brancher en parallèle avec la machine A. On a, en m, en valeurs absolues, $I_1 + I_2 = i$, i étant le courant global dans les moteurs. Si on représente par N la vitesse de rotation du groupe, on a approximativement

$$U_1 = kNI_1 \quad \text{et} \quad U_2 = kNI_2,$$

d'où il résulte

$$U = U_1 + U_2 = kN(I_1 + I_2) = kNi,$$

de manière que si la tension U du réseau est constante, le courant i traversant les moteurs M et N reste automatiquement constant, à condition que la vitesse N soit maintenue constante. A cet effet, il est prévu une troisième machine E, calée sur le même arbre que A et B, connectée à la ligne d'alimentation et pourvue d'une excitation shunt. Cette machine est d'autant plus indispensable que la puissance de l'ensemble des machines A et B

$$W_1 + W_2 = kN(I_1^2 - I_2^2)$$

n'est nulle qu'au seul instant où $I_1 = I_2$, et qu'il faut donc la compenser en demandant à la machine E de produire ou d'absorber une puissance variable entre 200, 0 et — 200 kw.

On pourra remarquer que si le courant i des moteurs M et N vient à manquer, les courants d'excitation des machines A et B se réduisent à un courant Y, allant du pôle positif au pôle négatif de la ligne, courant qui produira une tension U_1 négative et une tension U_2 positive égales, de manière que $U_1 Y + U_2 Y = 0$; et il ne pourra être satisfait à la condition $U_1 + U_2 = U$ que si le coefficient k de la machine A est quelque peu différent de celui de la machine B et si la vitesse N devient très grande. On peut obvier à cet inconvénient au moyen d'un relais qui coupe le circuit entre m et n lorsque le courant des moteurs vient à disparaître. Si ce courant i doit varier (sans s'annuler), on peut le régler en faisant varier N, puisque $i = \frac{U}{kN}$, en agissant sur la machine E qui commande cette vitesse. Mais on conçoit que toute cause de perturbation de la tension U de la ligne ou du courant i des moteurs M et N dérange le fonctionnement automatique de l'ensemble A B E M N.

Dans le dispositif simple, dit « à excitations croisées » (fig. 7), la tension positive U_1 est due au courant « négatif » I_2 et la tension positive U_2 au courant

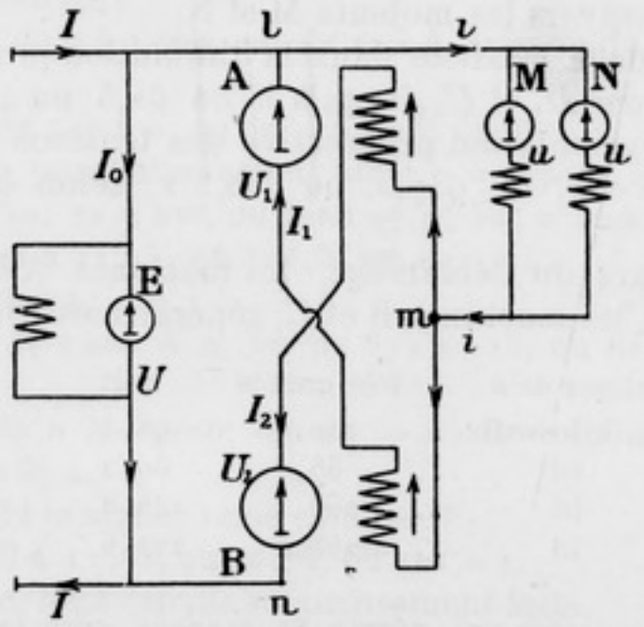


Fig. 7. — Schéma du dispositif simple Boucherot et Brunswick dit « à excitations croisées ».

« positif » I_1, si les moteurs M et N sont à brancher en parallèle avec la machine A. On a naturellement la même relation entre I_1, I_2 et i que plus haut. Si on représente encore par N la vitesse du groupe, on a maintenant, approximativement

$$U_1 = kNI_2 \quad \text{et} \quad U_2 = kNI_1,$$

d'où il résulte

$$U = U_1 + U_2 = kN(I_2 + I_1) = kNi,$$

comme dans le cas précédent, et le courant i reste automatiquement constant si la tension U est constante et si la vitesse N ne varie pas. Dans ce cas la puissance de l'ensemble des machines A et B a pour valeur

$$W_1 + W_2 = kN(I_2 I_1 - I_1 I_2) = 0.$$

Néanmoins une troisième machine E, de puissance réduite et que nous négligerons dans nos calculs, sera encore nécessaire pour régler le courant i au moyen de la vitesse N. Il est vrai qu'on pourrait encore agir en ajoutant ou en supprimant des résistances en dérivation aux bornes des enroulements d'excitation croisés.

Ces dispositifs et ceux du même type décrits plus loin sont prévus, comme nous l'avons constaté, pour un réglage automatique et, par conséquent, continu. Nous avons néanmoins étudié leur fonctionnement dans les deux autres hypothèses des réglages à huit et à six étapes, que l'on pourrait peut-être réaliser par quelque artifice, afin de donner un aperçu plus étendu de la question qui nous occupe.

Pour le dispositif Boucherot simple à excitations droites, tous calculs faits, on trouve, machine E comprise,

Valeurs de n	très grande	huit	six
W'_0, en kilowatts...	200,0	153,1	138,9
W''_0, id ...	116,7	92,2	84,3
S, id ...	346,5	297,6	288,1
S', id ...	346,5	271,2	254,3

Pour le dispositif à excitations croisées, en négligeant la machine E, quelque peu indéterminée, on trouve les mêmes valeurs que pour le dispositif Ward-Léonard simple.

3. Description du dispositif double. — Dans le dispositif double, que nous dirons « à excitations droites » (fig. 8), il y a deux couples de machines AB et CD en parallèle, D fonctionnant comme A et C comme B, et les moteurs M et N sont connectés, d'une part en m entre A et B, d'autre part en q entre C et D, comme dans le dispositif double Ward-Léonard. Les tensions positives $U_1 = U_4$ sont dues aux courants « négatifs » $I_1 = I_4$, et les tensions positives $U_2 = U_3$ sont dues aux courants « positifs » $I_2 = I_3$, si, pour le démarrage, le courant i doit aller de m vers q.

Ce dispositif exige la présence d'une cinquième machine E, de puissance double de celle de la troisième machine E nécessaire dans le cas du dispositif simple à excitations droites. Sa fonction est encore celle de compenser la différence entre les couples moteurs des machines A et D et les couples résistants des machines B et C, et de permettre de régler la vitesse N dans un rapport convenable avec le courant i que l'on veut établir dans les moteurs M et N.

Dans le dispositif double dit « à excitations croisées » (fig. 9), conçu comme le précédent et ayant les mêmes applications, les tensions positives $U_1 = U_4$ sont dues aux courants « positifs » $I_2 = I_3$, et les tensions positives $U_2 = U_3$ sont dues aux courants « négatifs » $I_1 = I_4$, si pour le démarrage le courant i doit aller de m vers q.

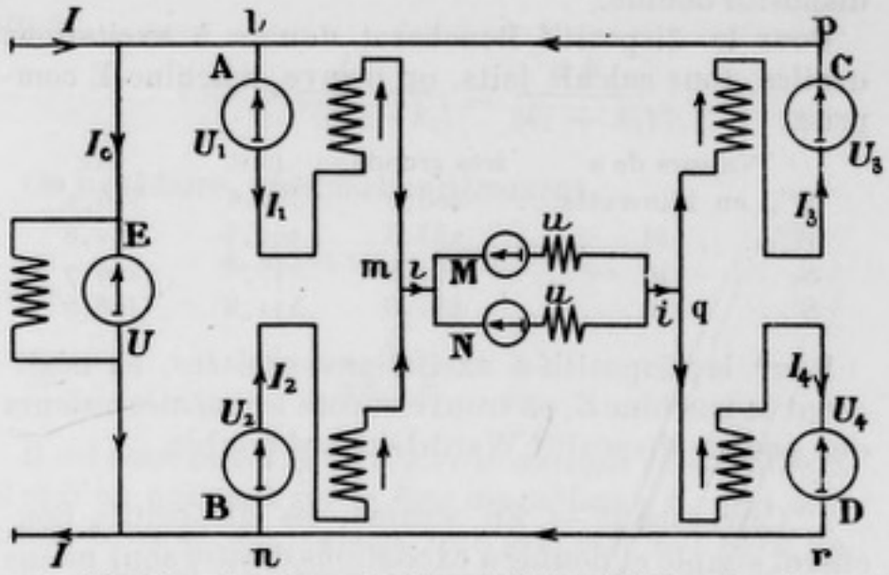


Fig. 8. — Schéma du dispositif double Boucherot et Brunswick dit « à excitations droites ».

Dans ce dispositif les couples moteurs des machines A et D et les couples résistants des machines B et C se font équilibre, mais une cinquième machine E, de puissance réduite et que nous négligerons, est encore nécessaire pour régler la vitesse N d'après le courant i à entretenir.

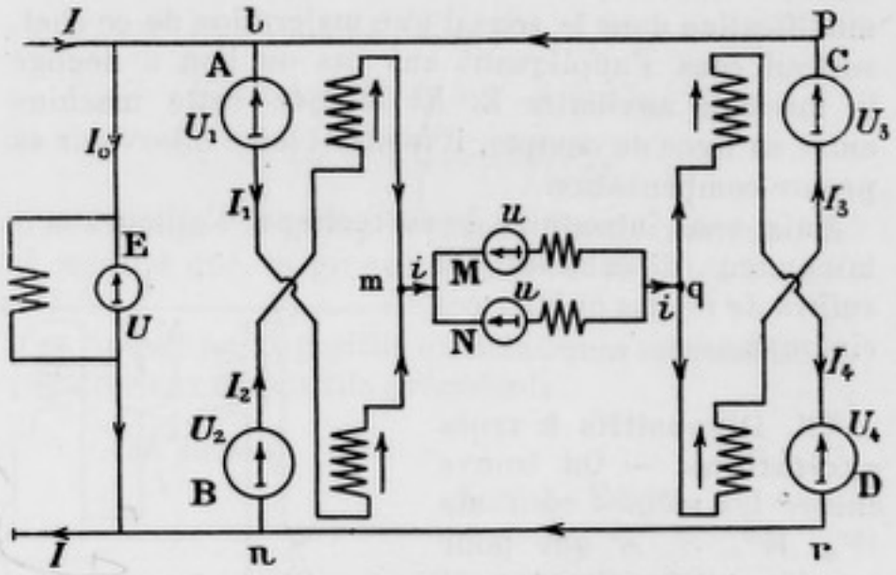


Fig. 9. — Schéma du dispositif double Boucherot et Brunswick dit « à excitations croisées ».

Il est à noter que le croisement des excitations au lieu d'être fait, d'une part, entre les machines A et B et, d'autre part, entre les machines D et C, peut être fait, d'une part, entre les machines A et C et, d'autre part, entre les machines B et D.

Nous ferons remarquer, de plus, que dans les groupes à excitations croisées, simple ou double, l'inversion simultanée des excitations fournies d'une part par I_1 et I_4 et, d'autre part, par I_2 et I_3, ne fait que changer la

direction du courant i dans les moteurs M et N. Sur les figures, qui se rapportent au démarrage, le courant de ces moteurs est dirigé vers la borne m dans le cas du dispositif simple, et sort de la borne m dans le cas du dispositif double.

Pour le dispositif Boucherot double à excitations droites, tous calculs faits, on trouve, machine E comprise,

Valeurs de n	très grande	huit	six
W'_0, en kilowatts...	400,0	351,6	336,2
W''_0, id ...	233,3	202,5	192,6
S, id ...	651,8	545,8	529,7
S', id ...	651,8	521,8	498,6

Pour le dispositif à excitations croisées, en négligeant la machine E, on trouve encore les mêmes valeurs que pour le dispositif Ward-Léonard double.

4. Conclusions. — En somme, les dispositifs Boucherot simple et double à excitations droites sont moins avantageux que les dispositifs analogues Ward-Léonard ; et les dispositifs simple et double à excitations croisées sont aussi avantageux, à condition de négliger la machine E qu'il convient tout de même de leur adjoindre.

Tous ces dispositifs, simples ou doubles, à excitations droites ou croisées, sont composés de machines dont les circuits magnétiques sont éloignés de la saturation. Ils doivent être munis d'enroulements compensateurs. Leurs indices S et S' devraient subir une modification dans le sens d'une majoration de ce chef, surtout ceux s'appliquant aux cas où l'on a négligé la machine auxiliaire E. Et lorsque cette machine entre en ligne de compte, il faudrait faire intervenir sa propre compensation.

Mais, sans introduire de corrections, d'ailleurs certainement discutables, il suffira de ne pas oublier ces circonstances.

VII. **Dispositifs à trois excitations.** — On trouve encore les mêmes résultats W'_0, W''_0, S, S' que pour les dispositifs simples et doubles Ward-Léonard, pour deux autres dispositifs automatiques analogues aux dispositifs Boucherot et Brunswick, mais ne demandant l'aide d'aucune machine auxiliaire E.

Ces nouveaux types de groupes de réglage imaginés par l'auteur (fig. 10 et 11), à deux ou à quatre machines, à circuits magnétiques non saturés, n'ont aucun intérêt pratique, car les dispositifs Ward-Léonard à circuits magnétiques saturés seraient préférables, automaticité mise à part. Nous en ferons mention néanmoins dans un intérêt tout théorique.

Chaque machine est soumise à une excitation shunt qui lui assure une tension égale à la moitié de celle de la ligne d'alimentation $\frac{U}{2}$, et à deux excitations en série, l'une directe, c'est-à-dire produite par son propre courant, et l'autre croisée, c'est-à-dire que l'excitation de A peut provenir du courant de B ou du courant de C,

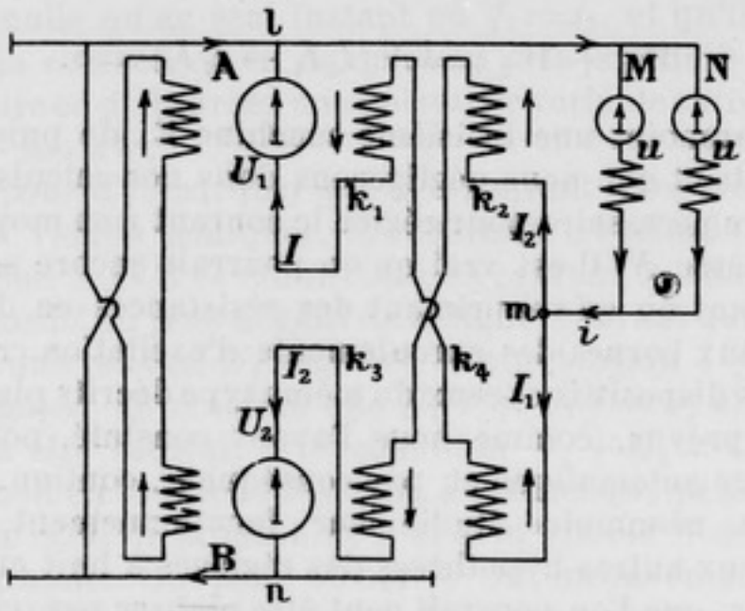


Fig. 10. — Schéma du dispositif simple, ou à deux machines A et B, imaginé par l'auteur.

et ainsi de suite. Dans le cas du groupe simple, un courant « positif » I_1, traversant l'armature A « dévolte » la machine A et « survolte » la machine B, et un courant « négatif » I_2, traversant l'armature B, « dévolte » la machine B et « survolte » la machine A, si les moteurs M et N sont à brancher en parallèle avec la machine A.

Dans le cas du groupe double, un courant « négatif » I_1, traversant l'armature A, « dévolte » la machine A et « survolte » la machine B, et un courant « positif »

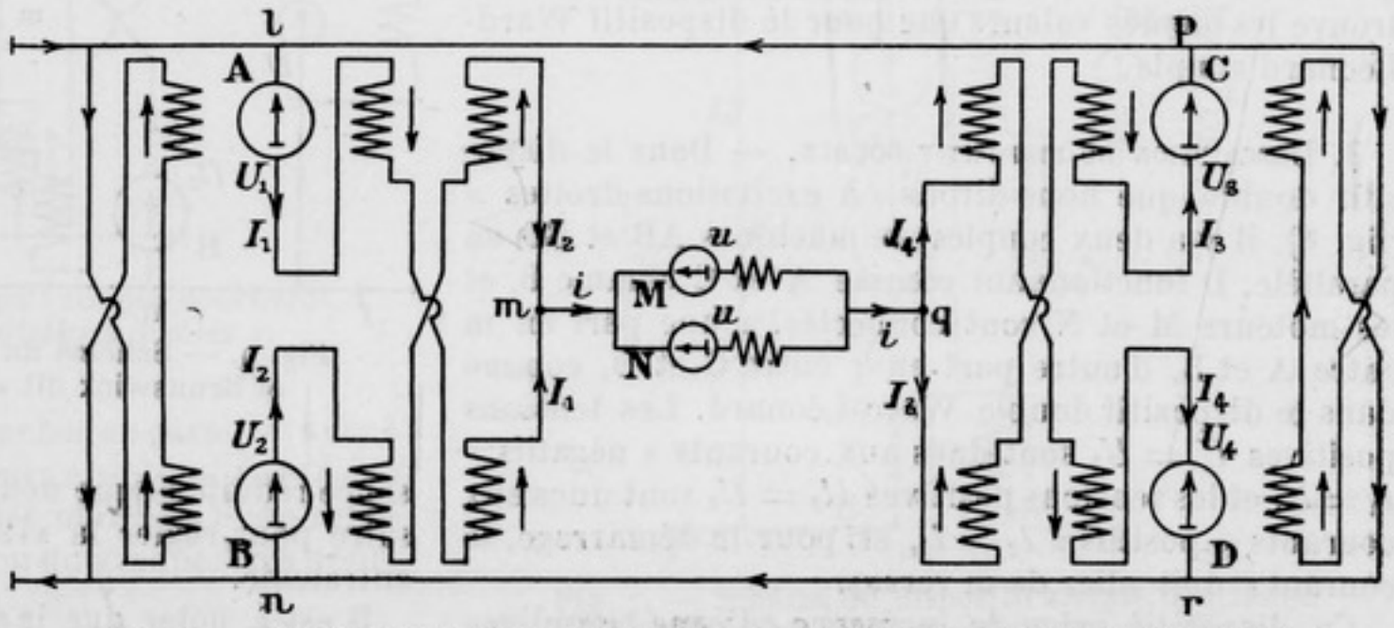


Fig. 11. — Schéma du dispositif double, ou à quatre machines A, B, C et D, imaginé par l'auteur.

I_2, traversant l'armature B, « dévolte » la machine A et « survolte » la machine B, si pour le démarrage le courant i doit aller de m vers q. (N'oublions pas que nous avons supposé que le pôle positif de la ligne était du côté des machines A et C, et son pôle négatif du côté des machines B et D).

Pour faire la théorie simplifiée, en négligeant les pertes intérieures du dispositif de réglage, simple ou double, à trois excitations par machine, en prenant comme positif un courant « générateur » dirigé comme toutes les tensions du pôle négatif vers le pôle positif

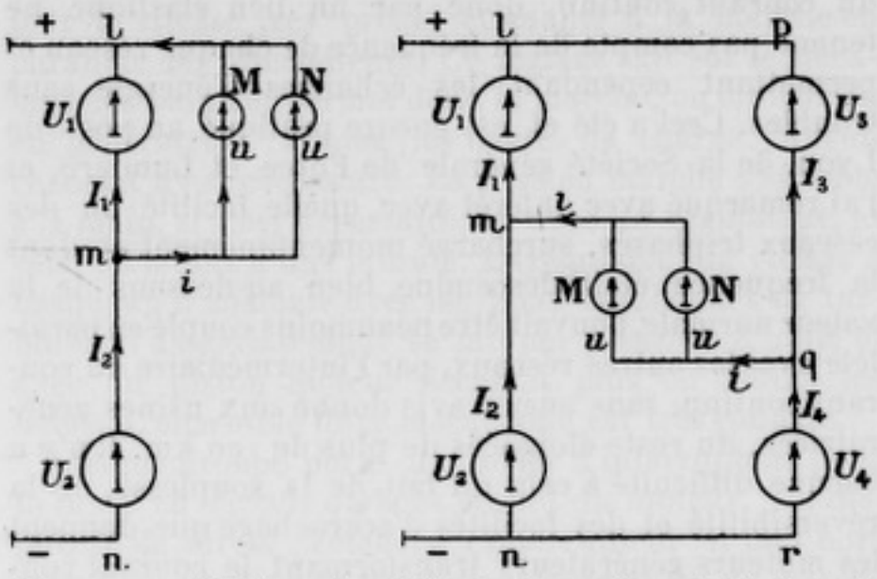


Fig. 12. — Schéma simplifié de deux dispositifs à trois excitations pour l'établissement de la théorie du système.

de la ligne et comme négatif un courant « moteur » dirigé dans le sens contraire (fig. 12), on pose

$$\begin{cases} U_1 = hN(F_0 + k_1 I_1 + k_2 I_2), \\ U_2 = hN(F_0 + k_3 I_2 + k_4 I_1). \end{cases}$$

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

$$U_1 + U_2 = U, \quad U_1 I_1 + U_2 I_2 = 0, \quad i + I_1 - I_2 = 0.$$

On peut leur adjoindre l'autre condition

$$U = 2hNF_0,$$

et on obtient alors

$$\frac{F_0}{i} = \frac{-k_1 k_3 + k_2 k_4}{k_1 + k_4 - k_2 - k_3}.$$

Ce rapport doit être déterminé, différent de zéro et différent de l'infini. On peut faire, par exemple

$$k_1 = -k_3 \quad \text{et} \quad k_2 = -k_4,$$

avec $k_1 + k_2 \neq 0$;

alors

$$i = \frac{U}{hN(k_1 + k_2)} = \frac{2F_0}{(k_1 + k_2)}.$$

On peut faire, plus particulièrement,

$$k_1 = k_2 = -k_3 = -k_4 ;$$

alors

$$i = \frac{U}{2hNk_1} = \frac{F_0}{k_1}.$$

Il est donc possible de régler le courant i des moteurs M et N en agissant sur le flux magnétique F_0 sans modifier k_1 et k_2. Ce réglage, qui peut être fait avec un seul rhéostat de champ agissant simultanément sur tous les circuits magnétiques du dispositif, est plus commode que la mise en circuit ou hors circuit de résistances en dérivation sur deux ou quatre ou huit enroulements inducteurs en série ; il est aussi commode que le réglage de la machine E complétant les dispositifs Boucherot et Brunswick.

Si le circuit des moteurs est rompu, le groupe est parcouru, dans le sens négatif l m n, par un courant Y, et l'on a

$$U_1 = hN(F_0 - k_1 Y - k_2 Y),$$
$$U_2 = hN(F_0 + k_1 Y + k_2 Y),$$
$$U = U_1 + U_2 = 2hNF_0,$$

comme lorsque le groupe est sous charge normale, ce qui signifie que le groupe conserve sa vitesse normale N.

Ces nouveaux dispositifs automatiques seraient donc à préférer aux dispositifs précédents.

(*A suivre*)

A. DELLA RICCIA.

La transmission de l'énergie électrique en courant continu à haute tension (*Suite et fin*) (*)

IV. **Transformation du courant continu à haute tension.** — Nous avons vu que le courant continu à haute tension pouvait être produit directement au moyen de dynamos appropriées et couplées en série. Moyennant quelques complications, il peut être le résultat de la transformation du triphasé, soit par redresseur à vapeur de mercure, soit par commutatrice, soit aussi par le « transverter Highfield ».

Nous savons que ce courant peut être transmis avec une facilité particulière, soit par lignes aériennes, soit mieux encore par câbles souterrains isolés au papier imprégné. Nous savons aussi qu'il permet d'utiliser la terre comme conducteur actif et que les chutes de tension en ligne se réduisent pratiquement à celle due à la

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 15 mars 1930, t. XXVII, p. 411-419.

résistance, la capacité ne jouant aucun rôle en marche normale et le courant se répartissant également dans toute la section du conducteur ; il n'est pas question de l'effet Kelvin sur les lignes, ni de la réaction du courant de capacité sur les génératrices. Et l'influence de la chute de tension en ligne est très favorable à la stabilité du courant et facilite son réglage.

Nous savons aussi que la situation des postes de transformation, qu'ils soient installés près des génératrices, le long de la ligne ou à l'extrémité de celle-ci, est sans aucune influence sur la marche des appareils transformateurs. En effet, dans un circuit en série le courant est le même dans toutes ses parties.

Comment peut-on transformer le courant continu en formes usuelles propres à la distribution générale, c'est-à-dire presque toujours triphasée ? Jusqu'ici seulement par appareils rotatifs. Je ne connais pas d'autre solution. Le redresseur à vapeur de mercure est irréversible, donc exclu. La commutatrice pourrait à la rigueur être utilisée, mais des difficultés se présentent, que je n'ai pas été capable de surmonter et je ne connais aucun exemple d'application sur des circuits « série ».

1. Convertisseur a bagues tournantes. — Le convertisseur de M. Highfield mérite une mention à part. Il peut transformer le courant continu en alternatif et cela certainement avec un bon rendement. J'ai échoué quand je l'ai essayé autrefois, mais M. Highfield a réussi dans ses essais sur une puissance modérée (400 kw à une tension continue de 100 kv) puisqu'il a poursuivi avec succès un essai de quinze mois, d'après une communication de M. R.-T. Smith (1). Depuis lors, je suis resté sans nouvelle aucune des résultats obtenus avec ce système. Si je ne m'abuse, la transformation du courant alternatif par le convertisseur de M. Highfield exige une tension continue constante. On ne peut pas transformer le courant continu d'intensité constante en tension constante alternative et, à ma connaissance, M. Highfield ne l'a jamais proposé. Donc la station génératrice devra nécessairement être équipée, comme d'habitude, pour tension constante. Si l'on désire éviter la transformation primaire, ce qui est très légitime, les génératrices en service devront toujours être en nombre suffisant pour pouvoir produire la haute tension continue, soit au moins par groupe de 10 unités à 10000 v pour chaque 100 kv, même si le circuit ne comporte aucune charge. C'est un inconvénient que M. Highfield évite en utilisant son appareil aussi bien à la station génératrice, qu'il équipe en triphasé, qu'aux postes convertisseurs. Et toujours il sera nécessaire de garder en mouvement la totalité des convertisseurs nécessaires à la haute tension à maintenir constante sur le réseau. Sur ce point, je reste un peu sceptique, connaissant la difficulté d'une commutation dont on n'est pas maître et qui varie avec le débit. Je lui préfère celle d'une bonne génératrice normale, munie de pôles de commutation efficaces à toutes les charges.

(1) R.-T. Smith. *Journal of the Institute of Transport*, juillet 1922, t. III.

Ce que je retiens de plus intéressant dans la conférence de M. Roger-T. Smith, ce sont les avantages qu'il signale au point de vue de la traction d'abord, puis au point de vue de la marche en parallèle de plusieurs réseaux triphasés interconnectés par l'intermédiaire du courant continu, donc par un lien élastique ne tenant pas compte de la fréquence de chaque réseau et permettant cependant les échanges d'énergie sans troubles. Ceci a été et est encore pratiqué au poste de Lyon, de la Société générale de Force et Lumière, et j'ai remarqué avec intérêt avec quelle facilité un des réseaux triphasés, surchargé momentanément et dont la fréquence était descendue bien au-dessous de la valeur normale, pouvait être néanmoins couplé en parallèle avec les autres réseaux, par l'intermédiaire du courant continu, sans aucun avis donné aux usines génératrices, du reste éloignées de plus de 100 km. Il n'y a aucune difficulté à cela du fait de la souplesse, de la réversibilité et des facilités d'accrochage que donnent les moteurs-générateurs transformant le courant continu en triphasé du poste de Lyon.

En résumé, pour ce qui concerne le « transverter Highfield », je l'entrevois comme une possibilité intéressante par son haut rendement et j'attends de voir en marche correcte, et sans étincelles, les groupes puissants qui ont été annoncés par M. R.-T. Smith.

2. Groupes convertisseurs. — 1° *Principe et avantages.* — Actuellement, dans toutes les installations encore en marche, la transformation s'opère par groupes moteur-générateur. Aussi bien le problème, tel qu'il m'a été posé à l'origine, subsiste et se résume en quelques mots : obtenir par transmission électrique la force motrice dans les conditions les plus économiques. Si, dans une usine génératrice à courant triphasé, on peut entraîner les génératrices à meilleur compte avec un moteur électrique qu'avec un moteur thermique, on n'hésitera pas à assurer la plus grande part du service par moteurs électriques, n'utilisant les moteurs thermiques que pour franchir les pointes et comme réserve.

La transmission directe de la génératrice à la réceptrice sans l'intermédiaire de postes élévateurs et réducteurs de tension, la ligne la plus simple et la plus économique, avec la terre comme conducteur de retour, arrivent à ce résultat final que le prix de la puissance transmise rapporté à 1 kw est moins élevé, pour les grandes distances, en courant continu qu'en triphasé. Il ne faut pas actuellement demander davantage.

Pour ne pas allonger cet exposé, je n'entrerai pas dans beaucoup de détails sur la transformation mécanique du courant continu à haute tension. Chacun peut s'en faire une idée assez claire. Je dirai cependant quelques mots sur les moteurs à courant continu.

2° *Moteurs.* — Jusqu'ici on a adopté, pour le moteur, le même type et les mêmes dimensions que pour les génératrices, à ce point que l'on pourrait interchanger les machines, si cela est nécessaire.

Comme les génératrices, les moteurs sont isolés du sol pour la tension totale et la surface du sol est revêtue

d'une épaisseur d'environ 5 cm d'asphalte, recouverte elle-même d'un dallage isolant ou aussi d'un simple linoléum. Les hommes de service peuvent ainsi toucher et manœuvrer les machines, comme si elles étaient reliées à la terre.

Chaque groupe convertisseur est réglé par un régulateur de vitesse très précis et adapté à la marche en parallèle des alternateurs. Ce réglage agit sur le décalage des balais et permet donc la marche, en moteur ou en génératrice, à tous les degrés de charge. Aucun rhéostat n'est nécessaire. La mise en marche s'effectue à la main, si c'est nécessaire, ou avec un régulateur, et cela, en moins d'une minute. Le régulateur de vitesse a beaucoup d'analogie avec les bons régulateurs de turbines ; l'asservissement se fait par pression d'huile et avec un piston moteur décalant plus ou moins les balais. L'ensemble de ce mécanisme est très robuste.

Chaque groupe porte un levier d'interrupteur pour la mise en circuit ou hors circuit du moteur. Un dispositif de sûreté déclenche l'interrupteur et met hors circuit la machine en cas d'emballement ou de marche inversée ; on a aussi prévu cet arrêt en cas d'amorçage d'arcs ; mais en général ce dispositif n'est pas utilisé malgré sa simplicité. Un voltmètre placé sur la colonne de l'interrupteur permet de contrôler la puissance fournie par le moteur.

3° *Connexions et appareillage.* — Les connexions entre machines se font par un câble armé, logé dans le sous-sol, comme le sont aussi les interrupteurs et sectionneurs. Ces derniers ne permettent pas de couper le circuit général, toujours fermé en boucle. Il n'y a aucun disjoncteur automatique de courant sur tout le circuit, aucune coupure n'étant permise, ni utile.

Les interrupteurs sont dans l'huile ; la cuve est reliée à la terre ; ils sont disposés de telle sorte que la charge statique que doivent prendre les machines lors de leur introduction sur le réseau ne soit pas instantanée, mais graduelle, le courant passant automatiquement par un bâtonnet de silicite à grande résistance.

4° *Précautions générales.* — Les charges statiques, du reste, pourraient prendre une valeur dangereuse pour les machines placées en tête de ligne. Une résistance à point neutre relié au bâti évite radicalement ce danger, Il en est de même pour les génératrices, de telle sorte que chaque machine est construite et isolée pour sa tension individuelle, sans tenir compte de la tension totale, ce qui facilite beaucoup leur construction.

Le rendement ordinaire des génératrices et réceptrices est 94 pour 100. Nous avons obtenu jusqu'à 96 pour 100 et le calcul montre que le rendement des unités plus puissantes est meilleur encore.

A Lyon, les réceptrices ont deux induits par bâti. La tension à pleine charge monte à 10 kv par groupe, soit 5 kv par induit. En marche ordinaire, la tension oscille entre 8 et 9 kv par groupe ; la vitesse est de 428 t : mn.

3. Poste de transformation pour traction a Lyon. — Le courant continu à haute tension, 100 à 125 kv, pénètre à Lyon par câble armé d'une longueur simple de 4 km et qui alimente la station de traction de la rue d'Alsace. Je n'ai rien à dire de particulier ; les moteurs datent de 1906 et continuent leur service mieux qu'au début, car ils marchent depuis 1911 avec 150 A au lieu de 75, et s'en trouvent bien. Leur marche est très normale ; leur vitesse est de 428 t : mn.

Le câble armé mérite une mention ; il n'a jamais eu de réparations et son degré d'isolement est devenu si haut qu'il est impossible de le mesurer. Après plusieurs heures de court-circuit entre âme et enveloppe, la charge statique n'est pas épuisée et le galvanomètre accuse un débit chargeant la batterie d'essai (500 v). Ce résultat est remarquable, d'autant plus que des esprits chagrins avaient prévu que l'électrolyse le mettrait promptement hors de service ; or, depuis 24 ans aucun signe d'électrolyse n'apparait... elle y met du temps!

En conclusion, l'expérience acquise à Lyon démontre que le courant continu à haute tension et intensité de courant constante peut être transmis sans crainte par câble armé et utilisé avec succès pour la commande soit des alternateurs, soit des génératrices de traction.

V. Quelques détails sur les dispositions rendues nécessaires pour la mise en série de plusieurs unités à haute tension. — Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici les moyens employés pour assurer la bonne tenue des isolements des enroulements des génératrices et réceptrices lorsque la tension totale est très élevée. On m'a souvent demandé si ces machines n'étaient pas très difficiles à isoler eu égard à la tension totale. Ce serait en effet le cas si l'on n'avait pas un sûr moyen d'affranchir les dynamos de la tension totale. Je ne saurais pour ma part comment isoler des enroulements pour une tension supérieure à une vingtaine de kilovolts sans sacrifier largement sur le prix et le rendement des machines, sans parler d'inévitables accidents.

Aussi, dès ma première étude, en 1881, j'avais prévu la difficulté et réalisé l'année suivante les principales dispositions de sécurité nécessaires.

1. Dispositions de sécurité. — Quatre dispositions sont prises conjointement ; ce sont l'isolement parfait des bâtis des machines par rapport au sol et l'isolement superficiel de celui-ci en vue de la protection du personnel ; la réunion du bâti de chaque groupe avec un point neutre artificiel ; à cet effet, une résistance de l'ordre du mégohm est prise en dérivation sur les bornes du groupe et son point milieu est connecté au bâti ; un isolement très fort, au mica pur, entre l'arbre et la masse de chaque induit ; les tôles et les collecteurs sont ainsi franchement et fortement isolés du bâti ; il en résulte qu'en aucun cas la tension développée par un induit ne peut créer une surtension sur les isolements d'un ou plusieurs autres induits montés sur le même bâti ; et enfin la création d'un point neutre sur chaque induit et la liaison directe de ce point neutre à la masse des tôles.

L'ensemble de ces dispositions a pour résultat de permettre l'emploi d'isolements normaux pour la construction des machines, sans tenir compte de la tension totale obtenue par le couplage en série des machines.

1° *Isolement du bâti par rapport au sol.* — Cet isolement doit être absolument certain; cela est de première nécessité. Il ne serait pas aisé à obtenir si la nature ne fournissait pas abondamment une matière parfaitement appropriée, l'asphalte et le bitume, dont le pouvoir isolant est très élevé. Comme il est loisible de réserver l'espace nécessaire, on arrive sans difficultés à réaliser le meilleur isolement désirable. Les socles de béton armé reposent sur un nombre suffisant de blocs imprégnés à chaud, de 15 à 20 cm de hauteur, et noyés ensuite dans une épaisse couche d'asphalte coulé bien chaud. Le groupe est ensuite monté sur son massif à la manière ordinaire et il ne reste qu'à recouvrir le sol de l'usine de trois couches successives d'asphalte pour la protection du personnel, puis d'un carrelage ou d'un linoléum.

2° *Isolement par rapport à la turbine.* — Jusqu'ici nous avons utilisé un manchon imaginé à l'origine par Raffard et que nous avons adapté à la transmission série. Chaque demi-manchon porte une série de doigts reliés en zigzag par une simple courroie. Le cuir sec s'est révélé comme excellent isolant. Sa solidité bien connue permet de calculer les dimensions à admettre et il ne reste plus qu'à respecter largement les distances nécessaires, tout en évitant les angles vifs. Nous n'avons pas eu d'ennuis de ce côté. Mais une protection est ici à sa place sous forme d'une barrière amovible empêchant le personnel d'entrer en contact simultané avec la terre et la dyamo.

M. Belli a imaginé un autre type de couplage semblant meilleur encore au point de vue de la protection du personnel, du fait qu'il éloigne suffisamment la dynamo de la turbine. Je regrette qu'il n'ait pas été adopté jusqu'ici et je souhaite qu'il soit bientôt soumis à l'épreuve de la pratique.

3° *Création d'un neutre sur chaque induit.* — La meilleure manière de relier les tôles du rotor au point neutre de l'enroulement, est l'emploi du dispositif imaginé en 1894 par le regretté Dolivo-Dobrowolski (pour équilibrer les distributions à trois fils) consistant en trois bobines d'inductance reliées, d'une part, aux tôles et, d'autre part, à trois points pris à 120° sur le bobinage du rotor. On obtient ainsi une liaison n'ayant pas une forte résistance, mais ne laissant passer que le faible courant d'excitation nécessaire. Ce moyen est radical et assure parfaitement l'indépendance des tensions individuelles à supporter par les isolements des enroulements. Une machine donnant 10 000 v en courant continu doit être normalement isolée pour sa tension alternative étoilée (c'est-à-dire 3 540 v entre bobinage et masse) quoique branchée en série sur un circuit de plus de 100 kv. Les variations habituelles de l'isolement des bâtis à la terre restent alors sans influence sur les isolements des enroulements.

4° *Isolement des instruments de mesure.* — Une usine génératrice pour la transmission en série ne comporte aucun tableau général, sauf un panneau réservé aux enregistreurs et compteurs en même temps qu'à un ampèremètre étalon et un voltmètre. Si le point neutre ou l'un des pôles d'une usine est mis à la terre, ces instruments sont insérés en cet endroit et restent au potentiel de la terre. Sinon, le panneau et le sol sont isolés de la terre comme les machines.

Chaque unité génératrice ou réceptrice comprend une colonne de manœuvre fixée sur son propre bâti. Autant que se peut, les instruments montés sur cette colonne (voltmètre et ampèremètre) sont branchés sur le neutre du groupe et sont donc au même potentiel que le bâti. C'est chose normale pour les groupes habituels à deux induits. En cas contraire, les instruments sont mis hors de portée de la main.

5° *Danger de contact des enroulements avec la main.* — Ordinairement, les enroulements du stator sont branchés sur le neutre du groupe et peuvent être touchés à la main sans danger. Il n'en est pas de même pour les groupes à trois induits de M. Belli. Mais dans les machines modernes complètement fermées, l'accès à la main des parties à haute tension est impossible. Seul le collecteur et les balais sont accessibles et aucun accident n'en est résulté jusqu'ici, quoique le collecteur soit essuyé de temps à autre en pleine marche; une simple latte en bois suffit pour cette opération, sans présenter aucun danger. Du reste, les deux pôles sont très écartés l'un de l'autre et il est difficile de les atteindre simultanément. Le contact d'un pôle est sans danger, mais donne cependant un avertissement, car un courant de l'ordre d'un centième d'ampère, tel qu'on peut le recevoir dans ce cas, est sensible à la main.

Un danger plus grand pourrait résulter du pont roulant de l'usine. On l'évite en remplaçant les chaînes des commandes à main par des cordes. Les machines en état de montage, de démontage ou de nettoyage sont toujours préalablement mises à la terre après isolement du circuit par leur sectionneur et leur interrupteur.

La nécessité d'isoler les bâtis et le personnel ne constitue donc pas une difficulté sérieuse. Toute sécurité peut être obtenue à la seule condition que l'espace ne soit pas trop ménagé autour des machines, afin qu'un homme ne puisse accidentellement faire pont entre la terre et le matériel sous tension.

En général, on ne rencontre guère aujourd'hui que des ingénieurs très au courant des dangers du courant alternatif, mais n'ayant pas eu l'occasion de se familiariser avec la haute tension continue et qui ne peuvent facilement comprendre qu'il n'est pas dangereux de rester en contact permanent et direct avec du matériel à un potentiel de plus de 100 kv. C'est pourtant le cas habituel sur l'installation de la transmission d'énergie de Moûtiers-Lyon; les hommes de service manœuvrent les machines, surveillent les paliers à la main, etc., sans être aucunement gênés par le potentiel élevé qu'ont ces divers organes. Si l'individu venant de l'extérieur, étant donc au potentiel de la terre, prend rapidement

contact, à la main, avec une machine à un potentiel élevé, il est averti de cette tension par une faible étincelle de charge qui le surprend, mais est inoffensive. Mais s'il reste un court instant au voisinage immédiat du groupe, il prend la charge par le sol plus ou moins conducteur à sa surface et dès lors, peut manipuler une machine sous un potentiel élevé sans se douter même de l'existence de ce potentiel. Le personnel, après peu de temps, n'y prend plus garde et évite instinctivement l'étincelle de charge en touchant du bout du pied le massif avant de porter la main sur la machine.

2. Mises en service ou hors service des machines. — Ces opérations se font toujours au potentiel zéro sans aucune étincelle à l'interrupteur. Il suffit, pour mettre en circuit une génératrice, de l'amorcer préalablement en court-circuit et au courant de régime. La tension aux bornes est alors nulle et la machine peut être insérée sans autre. A l'arrêt, de même, on réduit la tension à zéro et l'on met en court-circuit le groupe tout en l'isolant du circuit.

Il n'en est pas tout à fait de même pour la mise en circuit d'un moteur. L'interrupteur normal est interconnecté avec un deuxième interrupteur de court-circuit, dont les contacts sont des blocs de charbon. L'étincelle due à la résistance et à l'inductance de la machine s'établit entre les deux charbons; on évite ainsi toute étincelle aux contacts de l'interrupteur dans l'huile. Pour l'arrêt, on a intérêt à réduire la tension à zéro avant de mettre en court-circuit, en ramenant les balais sur la ligne neutre.

Les interrupteurs dans l'huile n'étant le siège d'aucune étincelle restent indéfiniment en parfait état.

3. Emploi de la terre comme conducteur effectif. — Quelques mots encore sur ce chapitre de haute importance au point de vue économique et technique.

Jusqu'ici, malgré l'expérience tout à fait décisive faite pendant 10000 heures (417 jours de service ininterrompu) à Lausanne en 1909 et 1910, la terre n'a jamais été utilisée régulièrement comme conducteur effectif, ceci uniquement par suite de décisions gouvernementales, à mon sens injustifiées. Et pourtant rien ne s'y oppose en courant continu.

Le service entier de distribution de l'énergie pour la lumière et la force motrice en triphasé, et les services de traction de la ville de Lausanne ont été assurés par un seul conducteur aérien de 56 km, à 22000 v et retour par le sol pendant plus d'un an.

Aucun incident d'exploitation n'en est résulté, à part un fâcheux accident de personne, tout à fait exceptionnel, et dont le système n'est pas responsable. Fait remarquable, on a passé les saisons orageuses sans aucun fonctionnement de parafoudre, contrairement à ce qui a lieu d'habitude. En un mot, au point de vue de l'exploitation comme au point de vue technique, l'utilisation du sol s'est montrée ce qu'elle est nécessairement, très avantageuse.

La résistance totale des deux terres a été en moyenne de 1,76 ohm et les prises de terre se sont bien comportées.

Aussi l'autorisation d'utiliser la terre comme conducteur effectif a-t-elle été envisagée pour l'installation de Moûtiers à Lyon, car elle aurait réduit de moitié les pertes de la ligne et permis d'économiser la moitié du matériel destiné à son équipement. La question est restée à l'étude dans l'idée de la reprendre lorsque le développement de la transmission d'énergie l'aurait rendue opportune. Rappelons ici que dans toutes les grandes villes l'intensité du courant de retour dans les installations de traction électrique atteint des milliers d'ampères, alors que pour l'installation de Moûtiers à Lyon il ne s'agirait que de 150 ou 300 A au plus.

VI. **Conclusions**. — Ainsi, les problèmes posés par l'utilisation du courant continu à haute tension ont pu être résolus assez convenablement, pour que son emploi ait pu devenir pratique. Les possibilités offertes pour les transmissions à très grande distance sont ainsi démontrées. Je ne veux pas dire par là que le système ne soit plus perfectible; bien au contraire, j'estime qu'il reste encore un long chemin à parcourir et je souhaite que ce soit l'œuvre de demain. Je serais heureux que ce modeste exposé puisse contribuer à encourager nos jeunes ingénieurs à suivre cette voie qui, peut-être, sera très fructueuse.

René Thury.

Revues, analyses et informations

Etude du fonctionnement des bobines d'inductance sur les lignes de distribution d'énergie à l'aide de l'oscillographe (1).

1. Généralités. — Depuis de nombreuses années on se sert de bobines d'inductance d'une valeur assez faible en combinaison avec des parafoudres pour la protection de l'appareillage des stations et sous-stations de distribution contre les surtensions. La bobine d'inductance est destinée non seulement à améliorer le fonctionnement du parafoudre en réfléchissant l'onde incidente, mais encore à empêcher l'application de la surtension au transformateur jusqu'à ce qu'elle ait été suffisamment réduite par le parafoudre. L'étude entreprise par l'auteur a pour but d'examiner si le fonctionnement d'un parafoudre à oxyde est amélioré quand on se sert d'une bobine d'inductance, si, au contraire, cette bobine est nuisible et si, enfin, il est possible d'apporter quelques modifications à son emploi, la rendant vraiment utile. Les essais eurent lieu sur une ligne à 66 kv: l'onde mobile était produite par un générateur d'ondes à front

(1) K.-B. MacEachron. *General electric Review*, décembre 1929, t. XXXII, p. 668-673, 3 000 mots, 16 figures.

raide donnant à circuit ouvert une différence de potentiel de 400 kv et ayant une capacité électrostatique de 0,0156 μF. Les essais furent exécutés avec deux formes d'ondes à front raide, l'une atteignant son maximum en 2 microsecondes, l'autre en 8 microsecondes ; deux bobines d'inductance ont été essayées, l'une ayant l'inductance normale de 0,034 mH, l'autre de 3,88 mH ; deux parafoudres furent employés, un à pellicule d'oxyde, l'autre d'un modèle spécial non décrit.

2. Essais préliminaires. — Tous les essais qui suivent ont pour but de vérifier certaines hypothèses qui, une fois contrôlées, permettront d'établir une théorie mathématique générale. Ainsi le transformateur a souvent été considéré comme une capacité pendant les 50 ou 100 premières microsecondes qui suivent l'arrivée de l'onde, fait qui a été vérifié expérimentalement.

On s'est demandé également jusqu'à quel point la capacité du transformateur avec ses bornes modifie l'onde incidente, quand on n'emploie aucun appareil de protection ; des oscillogrammes pris dans ces conditions montrent que la forme d'onde obtenue a un front un peu moins raide que l'onde à circuit ouvert. Pratiquement, on peut dire que l'onde, en atteignant le transformateur, se réfléchit et prend un potentiel maximum égal approximativement au double de celui de l'onde incidente.

3. Essais avec les bobines de choc. — 1° Avec l'inductance de 3,88 mH, les oscillogrammes montrent que, si l'inductance est seule, on obtient aux bornes du transformateur, ou de la capacité qui le représente, une différence de potentiel oscillante amortie se développant sur la courbe de l'onde appliquée comme axe. Quand on emploie un parafoudre, on obtient encore aux bornes du transformateur une différence de potentiel que l'on peut considérer comme périodique se développant sur la courbe de la tension aux bornes du parafoudre comme axe. Le fonctionnement du parafoudre n'est pas affecté sensiblement par la présence de l'inductance dont la valeur est cependant cent fois plus considérable que celle de l'inductance usuelle ; les deux types de parafoudres furent essayés et donnèrent des résultats analogues : il semble donc clair que le fonctionnement du parafoudre moderne à oxyde n'est pas amélioré par la présence d'une bobine de choc.

2° Avec l'inductance usuelle de 0,034 mH quand on n'emploie pas de parafoudre, aucune oscillation n'apparaît, car ici l'inductance est si faible que l'impédance caractéristique empêche facilement le régime d'être oscillatoire. Si, au contraire, on emploie un parafoudre ayant une chute de tension interne voisine de sa tension de fonctionnement, la tension aux bornes du transformateur devient oscillante et sa valeur maximum a considérablement augmenté montrant dans ce cas le rôle néfaste de l'inductance.

D'autres essais furent faits avec une onde progressive à front moins raide et ont montré que le fonctionnement du parafoudre et de l'inductance ne diffère pas de celui qui vient d'être exposé ; les mêmes effets se produisent quelle que soit la raideur du front de l'onde, bien que les caractéristiques du parafoudre et des oscillations, quand il s'en produit, varient avec la forme de cette onde.

4. Conclusions. — L'emploi d'une inductance intercalée entre un parafoudre et un transformateur, même si cette inductance a une valeur élevée, n'améliore pas le fonctionnement du parafoudre.

Dans le cas d'une inductance normale, son emploi en combinaison avec un transformateur et un parafoudre n'est pas à recommander si l'on veut qu'un parafoudre tel que le parafoudre à pellicule d'oxyde donne la meilleure protection ; de plus, les inductances usuelles en combinaison avec un transformateur ne protègent pas le transformateur, mais ne sont pas non plus nuisibles. — F. F.

Une méthode d'étalonnage des transformateurs de courant (1).

Le procédé d'étalonnage dont il va être question réalise un perfectionnement de la méthode habituelle de Silsbee et de celle du pont dont il est inspiré. Il consiste à mettre en série les enroulements secondaires du transformateur à étudier et d'un deuxième transformateur ayant à peu près le même rapport et appelé transformateur d'équilibre. Le même courant primaire excite alors les deux appareils. Un correcteur de phase est relié aux extrémités du secondaire du dernier transformateur ou à un enroulement supplémentaire dont on le munit alors. Ce dernier dispositif est destiné à ramener le flux, à travers le circuit magnétique, à une valeur nulle, ou tout au moins à un minimum négligeable. Un deuxième enroulement du transformateur d'équilibre est relié à un milliampèremètre et permet de s'assurer que cette condition est réalisée. La mesure du courant débité par le correcteur de phase permet alors de calculer les pertes du transformateur à étalonner. Cette mesure peut se faire au moyen d'un simple ampèremètre, mais on utilise de préférence un wattmètre, concurremment avec un ampèremètre ou un voltmètre.

Lorsque la condition de flux minimum est réalisée, le transformateur d'équilibre agit seulement comme une simple résistance et il devient aisé de calculer la différence de potentiel qu'établit aux extrémités du circuit l'enroulement secondaire du transformateur à essayer. Le courant débité par le correcteur de phase représente la différence entre les nombres d'ampères-tours primaire et secondaire du transformateur d'équilibre et, comme celui-ci est monté en série avec le transformateur à étudier, il représente la même différence relative à ce dernier. Les courants — ou les différences de potentiel — dans le primaire, le secondaire et l'enroulement alimenté par le correcteur de phase s'ajoutent géométriquement. La valeur des deux derniers étant connue, il est possible d'en déduire la valeur du premier et, par suite, d'étalonner le transformateur.

Il est à noter que quelques erreurs s'introduisent du fait que le flux dans le transformateur d'équilibre ne peut jamais être amené à une valeur rigoureusement nulle. Cette particularité est due, en grande partie, à la présence d'harmoniques dans le courant d'alimentation. L'action de ces derniers ne pouvait être éliminée que par l'emploi de plusieurs correcteurs de phase, chacun d'eux étant alimenté sous la fréquence d'un harmonique particulier. — A. A.

(1) W.-E. Baugrs. *Journal of the Institution of electrical Engineers*, février 1930, t. ccix, p. 305-307, 7 500 mots, 7 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

L'évolution des questions ouvrières et sociales pendant l'année 1929 *(Suite et fin)* (*)

6. Logement. — La pénurie de notre main-d'œuvre, les difficultés qui en résultent et notamment l'instabilité du personnel, la nécessité de recourir pendant de longues années à l'introduction de travailleurs étrangers et par suite de faire venir, dans une grande proportion, des familles entières, toutes ces circonstances, qui sont si étroitement liées à la situation du marché du travail, donnent plus d'importance encore au problème du logement qui vous préoccupe depuis si longtemps et pour lequel vous avez tout fait sous les formes les plus diverses; les expositions internationales qui se préparent vont être une occasion de plus de le montrer.

L'effort que vous êtes prêts à faire permettrait d'envisager une solution relativement rapide de ce problème, si vous rencontriez du côté des pouvoirs publics l'aide qu'il serait normal d'en attendre puisque le logement du personnel laisse des locaux disponibles pour le reste de la population. Mais à ce point de vue la situation n'a pas changé d'une manière appréciable. Si la Commission d'Attribution des Prêts affirme les principes peut-être avec moins d'intransigeance, le concours des finances publiques reste refusé à toute combinaison qui aurait pour objet le logement du personnel d'une ou de plusieurs entreprises. Il faut, pour pouvoir y prétendre, que les habitations à construire soient ouvertes à toutes les catégories de la population, et qu'aucun lien, juridique ou de fait, n'unisse les habitations à une entreprise. Il en résulte que si, dans une certaine mesure et sous certaines précautions, des subventions peuvent être accordées à des sociétés formées entre industriels pour construire des maisons dans les villes où il y a d'autres locataires possibles que le personnel d'un établissement, aucune demande utile ne paraît encore pouvoir être faite s'il s'agit de centres exclusivement ou presque exclusivement industriels.

D'autre part, l'appel aux capitaux disponibles reste fort difficile, parce que très onéreux soit en raison du taux du loyer de l'argent, soit en raison des charges fiscales qui s'y ajoutent.

Jusqu'à présent, rien n'a donc été fait par les pouvoirs publics pour faciliter la construction d'habitations ouvrières dont ils proclament pourtant à chaque occasion la nécessité.

Si nous sommes exactement renseignés, l'Administration ne serait pas éloignée d'envisager une taxe spéciale sur les industriels, analogue à la taxe d'apprentissage, comportant comme celle-ci un système d'exonérations. Le produit de cette taxe serait remis pour emploi aux Offices publics d'habitations à bon marché.

C'est une conception singulière de créer un impôt nouveau pour remédier à une situation résultant d'un excès d'impôts. Si le but que l'on poursuit n'est pas l'institution et l'extension d'un service d'Etat, la solution n'est point là; elle est dans une réduction des charges fiscales pesant sur les emprunts destinés à la construction d'habitations ouvrières. C'est sur ce point que dès cette année, à l'occasion d'une question spéciale, et d'accord avec la Caisse foncière de Crédit pour l'Amélioration du Logement dans l'Industrie, nous faisons porter notre effort.

Nous avons l'intention de l'étendre et de le généraliser l'année prochaine, d'autant que la baisse du loyer de l'argent paraît rapprocher le moment où les opérations de crédit pour la construction pourront reprendre, et où la Caisse foncière pourra retrouver le rôle si utile qu'elle a joué tant que les capitaux ont eu un marché normal. Des facilités fiscales auraient donc maintenant un effet sans doute immédiat et le moment paraît venu de ramener sur ce point l'attention du Parlement.

C'est pour la préparation de cet effort que nous vous avons récemment demandé de nous faire connaître :

1° Le nombre de logements dont la construction paraît nécessaire aux industriels pour leur personnel, étant donné les effectifs de main-d'œuvre dont ils disposent actuellement;

2° Le nombre de logements dont la construction paraîtrait nécessaire, en supposant que l'on puisse disposer d'une main-d'œuvre suffisante pour obtenir la production maximum en utilisant l'outillage et les bâtiments industriels qui existent actuellement.

Nous savons que pour préparer les délibérations de la Commission permanente du Conseil supérieur, le Ministère du Travail fait procéder, par l'Inspection du Travail, à une enquête auprès d'un certain nombre d'établissements. Nous serions reconnaissants à ceux-ci de nous faire parvenir une copie des renseignements qu'ils seraient ainsi amenés à donner.

7. Assurances sociales. — En ce qui concerne les assurances sociales, le fait caractéristique a été le mouvement d'opinion qui s'est produit aux approches de la date de mise en application de la loi. Il pourrait être surprenant pour qui n'aurait pas suivi d'assez près les conditions dans lesquelles la loi du 5 avril 1928 a été votée et ne connaîtrait pas notre aptitude à légiférer dans l'abstrait. A lire et à écouter, on aurait pu croire à un moment que cette loi n'était pas que l'expression d'aspirations publiques auxquelles un législateur presque tardif donnait enfin des satisfactions attendues. Quelques mois ont passé. Un règlement d'administration publique sur lequel on a voulu placer plus de responsabilité qu'il n'en pouvait prendre, mais qui n'en contenait pas moins 338 articles, est intervenu. Les délais des opérations préliminaires de la loi ont commencé à courir, et l'opinion, sortant de ce monde sin-

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 15 mars 1930, t. XXVII, p. 425-429.

gulier où croyaient se heurter des principes s'est trouvée en face de la vraie réalité, et du même coup elle l'a jugée. Elle a compté le nombre des formules à remplir, des opérations à faire, des fonctionnaires à créer; elle a calculé les sommes à payer en frais généraux sans rendement utile. Elle a mesuré, d'après des expériences antérieures, les abus qui se préparaient, les incertitudes financières, le trouble qui se répandait dans le pays. Chacun s'est senti tout d'un coup comme déjà enserré dans un réseau à la préparation duquel on n'avait pas été attentif, et l'on s'est rendu compte que l'opinion publique, à laquelle on avait cependant tant pensé, n'avait jamais voulu ce qu'on lui offrait.

De son côté, la Mutualité a mieux compris la loi. Elle a senti qu'on avait voulu lui donner les apparences en lui retirant la réalité. Consciente de son rôle dans le pays et de la force qui lui en vient, elle a refusé de se prêter à une manœuvre qui consistait à détruire de ses propres mains l'œuvre de longues années. Elle s'est enfin souvenu que la Mutualité est une liberté.

Ce double mouvement, s'ajoutant à la résistance absolue des agriculteurs qui, dès le début, avaient rétabli leurs droits, a conduit à cette conclusion, à laquelle il a fallu se rendre, que la loi était inapplicable.

De là un premier rectificatif apportant à la loi quelques modifications, indépendamment d'un régime spécial pour l'agriculture, puis un nouveau rectificatif plus étendu que le premier, un rapport de la Commission d'Hygiène et de Prévoyance sociale du Sénat plus compréhensif encore, des conférences entre les commissions intéressées, des interpellations, un nouveau rapport encore, à peine distribué, une tentative pour ne pas appliquer réellement la loi tout en retenant une obligation vide pour pouvoir dire qu'on l'applique, enfin un projet de loi encore en discussion qui remet au 1er juillet l'application même de la loi du 5 avril 1928. Voilà où l'on en est, et personne aujourd'hui ne peut dire ce qui sortira d'une situation qu'il eût été si facile d'éviter.

Si nous ne sentions pas la tristesse d'un désarroi si grave, nous pourrions revenir ici sur les observations formulées par le patronat au cours de la préparation de la loi des assurances sociales. Lorsque nous contestions le principe de la solidarité des risques et de l'unité d'assurance, lorsque nous demandions l'application par paliers, lorsque nous redoutions les abus et la démoralisation de la médecine, lorsque nous insistions pour une sérieuse participation des assurés aux frais médicaux et pharmaceutiques, lorsque nous demandions le maintien et la liberté des institutions existantes, lorsque nous parlions des charges de la production, de la hausse du prix de la vie, d'une menace pour nos exportations, nous étions à peine écoutés et nos observations étaient écartées d'un geste, comme viciées dans leur origine. Aujourd'hui, il n'en est guère dont on ne reconnaisse ce qu'elle apportait de sagesse et d'expérience. Il y a bien du regret chez beaucoup lorsqu'on nous dit qu'il est trop tard maintenant pour les reprendre.

Il ne serait peut-être pas trop tard si on le voulait bien. Nous reconnaissons — d'autant plus volontiers que nous savons avec quel soin nous nous en sommes occupés — les améliorations apportées par les rectificatifs et par les rapports de la Commission d'Hygiène du Sénat dans l'administration des assurances sociales pour la constitution et l'autonomie des caisses, la possibilité de se grouper pour la réalisation d'œuvres sociales communes. Un peu de souplesse tout au moins, sinon encore beaucoup de liberté, a commencé à pénétrer le système rigide et théorique qui avait d'abord été conçu.

Mais nous sommes obligés de redire ici qu'il y a un point sur lequel rien n'a encore été fait : on ne s'est pas encore sérieusement préoccupé des charges que la loi telle qu'elle est ferait peser sur la production. On n'a pas encore réalisé qu'on n'impose pas d'un seul coup à une économie nationale une charge de 6 à 8 milliards, sans troubler profondément cette économie. On n'a pas encore réalisé que lorsqu'une économie nationale est ainsi atteinte, les conséquences en sont senties et supportées par tous, par les entreprises, par les ouvriers, par les consommateurs, par l'Etat lui-même. Il suffirait pourtant, pour voir avec quelles précautions il convient d'agir, d'être attentif aux indices de resserrement des affaires, au mouvement de la balance commerciale, à la diminution de la valeur de nos exportations, aux difficultés grandissantes de nos industriels dans les adjudications internationales, aux échecs qu'ils y rencontrent, à la faible marge qui les protège lorsqu'ils l'emportent encore. Tous ces faits sont publics; ils sont prouvés. Alors on comprendrait dans quelle situation est aujourd'hui la production nationale, et les ménagements qu'elle devrait trouver de la part de ceux qui ont la responsabilité de la prospérité publique.

On se rendrait compte alors que, si l'on veut que les assurances sociales réussissent et ne soient pas l'occasion d'une crise, il faut qu'elles soient progressives. Si l'on ne croit plus pouvoir choisir entre les risques comme l'ont fait pourtant tous les pays étrangers et comme il serait si facile de le faire encore, il faudrait, au moins pendant toute la durée de la période d'adaptation, que les charges fussent calculées pour pouvoir être supportées sans peser sérieusement sur les prix de revient, sur les salaires, sur le coût de la vie. Progressivement et lorsque l'assimilation serait faite, on pourrait aller plus loin avec les mêmes précautions. Si l'on avait procédé ainsi, une partie des assurances sociales serait dès maintenant réalisée sans trouble, et l'on saurait où l'on va.

Nous souhaitons que, pendant les quelques semaines auxquelles le Parlement a cru devoir limiter son œuvre de revision, il ait le temps d'établir entre la loi et la réalité à laquelle elle doit s'appliquer, les rapports exacts qui jusqu'à présent n'ont pas été trouvés.

8. Main-d'œuvre étrangère. — Nos besoins en main-d'œuvre étrangère ont été cette année plus élevés que l'an dernier. Le nombre des travailleurs étrangers introduits en France, qui a été de 36 055 pour l'année entière en 1928, est monté à 110 871 au 31 décembre 1929.

En ce qui concerne nos industries, le nombre total des ouvriers demandés, qui avait été de 11 000 en 1928 (dont 6 400 pour les mines de fer et 4 600 pour les usines), s'est élevé à 23 700 au 31 décembre 1929 (soit 9 450 pour les mines de fer et 14 250 pour les usines).

Par une action constante auprès de l'Administration et auprès de la Société générale d'Immigration, ces demandes ont pu être satisfaites dans des conditions suffisantes : au 31 décembre 1929, 18 160 ouvriers étrangers avaient été introduits (dont 8 250 pour les mines de fer et 9 910 pour les usines).

Les problèmes se rattachant à l'introduction de la main-d'œuvre étrangère nous préoccupent d'autant plus vivement que nous en savons le caractère permanent. Les négociations pour arrêter ou pour exécuter les programmes prennent le caractère et les complications de négociations diplomatiques; la conférence qui a eu lieu récemment à Varsovie l'a encore montré. Les gouvernements des pays d'émigration veulent intervenir non seulement dans les con-

ditions de recrutement, mais dans les conditions d'emploi de la main-d'œuvre, allant parfois jusqu'à toucher aux prérogatives de la souveraineté nationale. Il est nécessaire, et nous sommes d'accord sur ce point avec l'Administration, de multiplier les sources de recrutement.

Nous nous sommes donc associés très volontiers à la mission organisée par le Ministère du Travail qui, cet été, a visité les pays de l'Europe centrale : elle en a rapporté des indications qui sont actuellement en voie d'utilisation ; soit en Roumanie, soit en Yougoslavie, nous pouvons trouver des contingents qui viendraient compléter et au besoin suppléer la main-d'œuvre polonaise dont nous sommes loin d'ailleurs de ne pas reconnaître les mérites. L'organisation nécessaire est prête et vous pouvez vous adresser à nous dès maintenant.

Pour faciliter le recrutement et la conservation de la main-d'œuvre, vous avez multiplié les logements, le confort, les encouragements aux œuvres auxquelles les immigrés sont attachés. Nous ne l'avons pas laissé ignorer aux autorités étrangères intéressées, dans les entretiens que nous avons eus avec elles. D'accord avec vous, nous avons fait savoir au conseiller d'émigration à l'ambassade de Pologne que nous serions heureux de lui faire visiter celles des mines de fer et des usines qu'il désirerait voir.

Nous nous sommes longuement occupés du débauchage et de l'instabilité de la main-d'œuvre dont nous souffrons si vivement, soit en ce qui concerne la main-d'œuvre étrangère, soit en ce qui concerne la main-d'œuvre nationale. Nous avons collaboré avec l'Administration pour affermir les garanties qu'assure la loi du 11 août 1926. Il y a intérêt à ne pas hésiter à saisir les offices départementaux et les parquets des débauchages dont vous pourriez être victimes, afin de permettre d'en poursuivre la répression.

Nous pouvons indiquer également que la jurisprudence paraît s'ouvrir à l'idée d'accorder plus aisément peut-être des dommages-intérêts en cas de débauchage.

Enfin, nous vous remercions des renseignements très utiles que, sur notre demande, vous nous avez envoyés sur les ententes intervenues entre employeurs dans un assez grand nombre de régions. Il y a là une organisation plus importante qu'on ne le croit et dont les résultats sont loin d'être négligeables. Sur toutes ces questions, si importantes à l'heure actuelle, si délicates à bien des points de vue, nous tenons à votre disposition beaucoup d'indications utiles.

Nous devons dire d'ailleurs, qu'en ce qui concerne les questions se rattachant à l'introduction de la main-d'œuvre étrangère, nous avons rencontré de la part de l'Administration une compréhension exacte des besoins de l'industrie et que nous avons pu collaborer avec elle d'une manière continue. Il serait injuste de ne pas signaler la manière dont les intérêts français ont été défendus à la Conférence de Varsovie, par M. le directeur du Travail.

9. Conseil national de la main-d'œuvre. — C'est au cours des réunions de la Commission permanente et du Conseil national de la main-d'œuvre qu'ont été discutées et adoptées les mesures essentielles prises pour renforcer l'application de la loi du 11 août 1926 en ce qui concerne le débauchage, notamment l'amélioration des conditions de délivrance de la carte d'identité et du récépissé, la tenue d'un fichier central permettant de suivre les ouvriers en rupture de contrat, etc...

Par ailleurs, un grand nombre des questions examinées ne touchent pas directement nos industries : main-d'œuvre dans la marine marchande, main-d'œuvre rurale, immigration algérienne.

Dans l'ensemble, l'action du Conseil national de la Main-d'œuvre tend à renforcer et à unifier les sources et les mesures de contrôle de la main-d'œuvre. Nous sommes loin de nier l'intérêt de mesures de cet ordre. Mais nous devons veiller à ce que la limite ne soit pas franchie au delà de laquelle l'organisation administrative empiète sur le domaine naturel de l'initiative et de la liberté dont elle risque de stériliser l'action.

10. Enseignement technique et apprentissage. — Peu de mesures législatives ou réglementaires ont été prises au cours de cette année en ce qui concerne l'enseignement technique et l'apprentissage.

L'article 59 de la loi du 30 mars 1929 a toutefois consacré le vœu regrettable émis par le Conseil supérieur de l'Enseignement technique en ce qui concerne l'imputation des cours professionnels sur la durée de la journée de travail. Il faut espérer que la faculté d'accorder des dérogations, qui est laissée à l'Administration, permettra d'éviter les grands inconvénients que pourrait avoir cette mesure.

Le décret du 25 juin 1929 pris pour l'application de la loi du 20 mars 1928 sur le contrat d'apprentissage est loin d'éclaircir toutes les difficultés de celle-ci.

En tout cas, nous vous rappelons qu'à partir de 1930, ne peuvent être retenus pour l'exonération de la taxe que les salaires payés aux apprentis avec lesquels aura été passé un contrat civil.

Pour tenir compte de la législation nouvelle, nous avons revu et mis au point notre contrat-type. Sous réserve de modifications qu'il pourrait y avoir lieu d'y insérer pour tenir compte de situations locales, nous croyons que vous avez intérêt à utiliser les dispositions que nous vous recommandons et qui ont été étudiées par notre Commission d'apprentissage.

Nous vous demandons de nous tenir au courant des difficultés que pourrait rencontrer l'application de la loi sur la taxe d'apprentissage. Sur les points importants, il peut être utile de faire appel devant la Commission permanente.

Le fait le plus inquiétant que nous devons signaler est un vœu émis par le Conseil supérieur du Travail. Nous ne voulons pas rechercher les conditions dans lesquelles le Conseil supérieur du Travail a été saisi de la question. Il suffit de rappeler que le vœu émis envisage l'établissement d'une liste des métiers où l'apprentissage est obligatoire, l'interdiction d'employer dans ces métiers des mineurs de dix-huit ans qui n'aient pas obtenu le certificat d'aptitude professionnelle ou ne soient pas munis d'un contrat écrit d'apprentissage ; enfin ce vœu prévoit que le Conseil supérieur de l'Enseignement technique déterminera les conditions auxquelles doit répondre le contrat d'apprentissage.

Si une suite devait être donnée à ce vœu une atteinte grave serait portée à la liberté et au caractère professionnel de l'apprentissage. Il y a là une cause sérieuse d'inquiétude.

Il est difficile aussi de ne pas être inquiets de l'instabilité du régime actuel de l'enseignement technique : tentatives d'absorption par l'enseignement primaire, menaces renouvelées contre le système des exonérations, où le législateur lui-même a vu la contrepartie nécessaire de la taxe, efforts d'origines diverses pour une organisation administrative de l'apprentissage. Sans cesse il faut défendre ce que vous avez fait, ce qui vous est nécessaire, surtout contre une connaissance insuffisante des besoins de l'industrie, des désirs mêmes de l'ouvrier, contre les conceptions théoriques, généreuses peut-être, mais inadaptées à la réalité. Le plus grand progrès serait qu'il fût bien compris

qu'on ne peut pas séparer l'apprentissage de la production et qu'il est nécessaire pour créer d'avoir une certaine sécurité.

11. Organisation scientifique du travail. — Le Service d'Organisation scientifique du Travail, avec lequel beaucoup d'entre vous ont été directement en rapport, a continué ses études selon les méthodes que nous vous avons exposées l'an dernier.

En dehors des indications qui ont été publiées régulièrement et de la documentation accrue qu'il tient à la disposition des adhérents de l'Union, il a procédé cette année à une enquête complémentaire sur un certain nombre de points importants relatifs à l'organisation des magasins. Les résultats de cette enquête, après étude par la Commission scientifique, seront publiés dans le « Bulletin ».

D'autre part, une enquête nouvelle va être ouverte sur l'observation des délais de livraison. Cette question, qui a des aspects très divers, se rattache par plusieurs côtés à la manière dont le travail est organisé dans les établissements, et il a paru intéressant d'examiner de quelle manière l'exactitude dans les délais de livraison pourrait être améliorée par des modifications dans l'organisation de ce travail. C'est de ce point de vue qu'un questionnaire a été établi : il vous sera prochainement adressé ; nous vous remercions à l'avance de vouloir bien y répondre avec autant de précision et de détail que possible.

En même temps que ces enquêtes, nous avons continué également la publication de monographies qui sont une autre méthode pour aborder le même problème, non plus en examinant comment une question d'organisation a été résolue dans divers établissements, mais en étudiant l'organisation d'ensemble d'une entreprise. La monographie sur « l'Organisation scientifique aux Etablissements J.-J. Carnaud et Forges de Basse-Indre » a été dès maintenant publiée, et une seconde édition vient d'être mise à la disposition de nos adhérents, grâce à l'obligeance des Etablissements Carnaud. Nous avons publié également l'étude de M. Marcel Bloch sur « l'Organisation scientifique dans les grands ateliers de locomotives de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans ». Une autre monographie paraîtra prochainement sur « l'Organisation scientifique aux Etablissements A. Faurs » (Ateliers de Constructions mécaniques), à Limoges, ainsi qu'un compte rendu détaillé de la visite du Chantier de Penhoët. Nous tenons à remercier particulièrement les chefs d'établissement qui ont bien voulu se prêter à ces études et les faciliter.

Deux nouvelles sessions de cours destinés aux ingénieurs et techniciens ont eu lieu cette année, les conférences étant accompagnées de visites d'établissements que nous remercions d'avoir bien voulu nous accueillir comme ils l'ont fait.

La première, qui a eu lieu au début de mai, et a réuni 92 auditeurs, a étudié l'organisation des bureaux d'approvisionnement, de comptabilité, du personnel et des services de réceptions, emmagasinage, distribution et manutention du Magasin général de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans à Saint-Pierre-des-Corps, les différents services et ateliers de fabrication des boîtes métalliques des Etablissements J.-J. Carnaud à Nantes-Chantenay, l'usine de Basse-Indre (métallurgie du fer blanc) des Etablissements J.-J. Carnaud, les Chantiers et Ateliers de Penhoët de la Société des Chantiers et Ateliers de Saint-Nazaire.

La seconde, toute récente, suivie par 82 auditeurs, a comporté la visite à Eguzon de l'usine hydroélectrique, à Toulouse des Etablissements Amouroux frères (constructeurs de machines agricoles), enfin, à Marseille, des docks et entrepôts, de l'agence de vente de la Société Als-Thom et des Etablissements Rocca, Tassy et de Roux (huilerie et minoterie).

Ces sessions de cours et ces visites paraissent avoir intéressé nos adhérents. Nous avons le soin d'ailleurs de réunir les principales observations faites dans des brochures que nous leur envoyons.

Enfin, nous avons suivi de près les travaux du quatrième Congrès international de l'Organisation scientifique du Travail, qui s'est tenu à Paris en juin dernier. Nous avons donné dans le « Bulletin » un compte rendu du Congrès et un résumé des principaux rapports.

A la question de l'organisation scientifique du travail se rattache étroitement celle de l'économie de main-d'œuvre résultant du développement de l'outillage. Nous avons indiqué au début de ce rapport l'importance de cette question. Nous songeons donc à chercher à nous rendre compte pour chaque industrie des résultats caractéristiques qui ont pu être obtenus. Nous serions reconnaissants aux établissements auxquels nous ferons appel à cet effet de vouloir bien nous renseigner. La Chambre syndicale du Matériel de Chemins de fer et la Chambre syndicale des Forces hydrauliques ont décidé de collaborer à cette étude et c'est par les entreprises qui relèvent d'elles que celle-ci sera commencée pour être ultérieurement poursuivie dans d'autres branches d'industries.

12. Conseil national économique. — Le Conseil national économique a continué son enquête sur la situation des principales branches de l'économie nationale. Sa troisième Commission a, en particulier, examiné et discuté les rapports qui lui ont été soumis sur l'industrie de la construction navale et sur l'industrie houillère. Les représentants des industries métallurgiques et minières seront entendus cette année et l'Union aura à présenter et à soutenir l'exposé sur les questions sociales et fiscales.

D'autre part, les études que le Conseil national économique avait antérieurement consacrées au problème de l'outillage économique du pays ont paru le qualifier pour émettre un avis sur le projet de loi relatif à l'équipement national. Le Président du Conseil a tenu à le consulter à ce sujet et a manifesté le désir de l'associer davantage à l'œuvre du Parlement.

L'importance ainsi grandissante de son rôle aura sans doute pour effet de faire mettre à l'ordre du jour de la Chambre le projet de loi organique du conseil national économique qui modifie d'ailleurs sensiblement la composition de celui-ci et qui est encore soumis pour avis aux commissions compétentes. Nous avons, en attendant, complété, notre documentation sur les organismes analogues de l'étranger afin d'en tirer des leçons utiles et de mettre à jour l'étude dont notre président avait été chargé à ce sujet en 1927 par la Confédération générale de la Production.

13. Législation internationale du travail et mouvement social a l'étranger. — Comme les années précédentes, votre délégué général, M. Lambert-Ribot, a été désigné par le Gouvernement, sur la proposition de la Confédération générale de la Production française, pour représenter les employeurs français à la douzième session de la Conférence internationale du Travail, qui s'est tenue en mai et juin 1929.

L'ordre du jour de cette session comportait quatre questions. Deux d'entre elles, le travail forcé dans les colonies et la protection contre les accidents des ouvriers occupés au chargement et au déchargement des navires, n'intéressaient pas nos industries. Les deux autres concernaient la prévention des accidents et la durée du travail des employés.

Le premier de ces problèmes avait déjà été étudié en 1928 par la Conférence et il revenait devant elle pour solution définitive. La Conférence a adopté, par 100 voix contre 12, une recommandation à soumettre aux gouvernements des Etats-membres. Le groupe patronal exprima son regret de ne pouvoir sanctionner par son vote une œuvre en grande partie utile et à laquelle il avait activement collaboré ; les dispositions relatives à la participation des travailleurs au contrôle de l'observation des prescriptions et l'extension de la recommandation aux transports maritimes et à l'agriculture, en violation des règles sur la consultation des gouvernements et des organisations compétentes, amenèrent en effet ses membres, soit à s'abstenir, soit à voter contre le projet qui leur était soumis. La délégation patronale française s'est rangée parmi celles qui ont cru manifester suffisamment leur réserve en s'abstenant.

La question de la durée du travail des employés n'a été examinée par la Conférence qu'en vue de l'établissement d'un questionnaire. Celui-ci a été envoyé aux Gouvernements des Etats-membres. Sur la base des réponses reçues et des propositions que le Bureau international du Travail retirera de celles-ci, la Conférence de 1930 établira un projet de convention ou une recommandation. Cette question n'intéresse nos industries que dans la mesure où les bureaux qu'elles possèdent ne sont pas déjà considérés comme des dépendances mêmes des usines, cas dans lequel la convention de Washington sur les huit heures leur sera applicable. La discussion qui s'est engagée à la Conférence présentait pourtant un grand intérêt : on pouvait espérer, en effet, que les gouvernements et les représentants ouvriers tiendraient compte de l'expérience fournie par la convention de Washington sur les huit heures dans l'industrie : on pouvait supposer que les difficultés reconnues depuis 1919 pour l'application de cette convention se traduiraient, dans cette première discussion sur un sujet encore plus complexe et délicat, par des dispositions d'esprit plus raisonnables. Le groupe patronal a été obligé de constater, au contraire, que, sur certains points, les délégués ouvriers se prononçaient contre des formules qu'ils avaient eux-mêmes proposées, à la Conférence de Washington, dans leur projet qui visait alors à la fois le commerce et l'industrie.

Aussi, en exprimant ses plus expresses réserves sur la rédaction tendancieuse de certaines questions, la délégation patronale française a dû s'abstenir de prendre part au vote sur le questionnaire, qui fut adopté par 92 voix contre 15. Néanmoins, pour prouver qu'il n'y avait dans son attitude aucune hostilité de principe contre la réglementation des heures de travail des employés, elle s'est prononcée, avec la très grande majorité de la conférence (105 voix contre 16) pour la réinscription de la question à l'ordre du jour de la session de 1930.

Quant à la convention de Washington sur la durée du travail dans l'industrie, elle reviendra bientôt devant le Conseil d'Administration du Bureau international du Travail et devant la Conférence elle-même, en même temps que les cinq autres conventions adoptées par la Conférence de Washington. Chaque convention doit, en effet, tous les dix ans après sa ratification par deux Etats, faire l'objet d'un rapport que le Conseil d'Administration soumet à la Conférence. Ces six rapports devront être présentés à la Conférence de 1931. Ils fourniront sans doute l'occasion d examiner certaines difficultés d'application.

Au cours de ces dix années d'existence. la Conférence a adopté, outre 33 recommandations, 28 projets de conventions (dont 16 concernent d'ailleurs la marine, l'agriculture ou des industries spéciales). Au mois de décembre, 377 ratifications de ces conventions avaient été enregistrées par la Société des Nations. Ces ratifications se répartissent très inégalement : tandis que, par exemple, la convention sur l'égalité de traitement des travailleurs étrangers et nationaux en matière de réparation des accidents du travail a reçu 25 adhésions et celle sur le travail de nuit des enfants 21 adhésions, la convention sur la durée du travail dans l'industrie n'a encore été adoptée que par 14 gouvernements, dont 5, comme la France, ont subordonné l'entrée en vigueur de leur ratification à la ratification d'autres Etats.

La France a, pour sa part, ratifié 15 conventions, et elle est sur le point de porter ce nombre à 17. Dès maintenant, elle arrive au septième rang sur le palmarès du Bureau international du Travail. Parmi les Etats ayant une importance industrielle, seule la Belgique l'emporte sur nous avec 19 ratifications ; la Grande-Bretagne est à notre niveau, mais l'Italie et la Pologne n'ont fait encore enregistrer que 14 ratifications, l'Allemagne 13, les Pays-Bas et la Tchécoslovaquie 11, le Japon 9, la Suisse 6. Notre pays, que l'on dit parfois en retard dans le mouvement social international, est donc au contraire à la tête des grandes nations industrielles. Il a adopté par exemple les conventions sur le travail de nuit des femmes et des enfants, le repos hebdomadaire, la réparation des accidents, le chômage et (sous réserve de la ratification de la Grande-Bretagne et de l'Allemagne) la convention des huit heures.

Au fur et à mesure que les conventions internationales de travail reçoivent des ratifications plus nombreuses, le Bureau international du Travail songe à étendre le réseau de ses études sur de nouveaux domaines. Il s'y efforce, d'une part, en faisant porter ses travaux sur des industries particulières et en essayant de préciser les conditions d'application, à ces industries, des conventions générales déjà en vigueur. Il est à peine besoin de vous rappeler, à cet égard, les discussions qui viennent d'avoir lieu à Genève sur la durée du travail dans les mines de charbon.

Le Bureau international du Travail cherche, d'autre part, à aborder des questions nouvelles concernant les ouvriers de l'industrie. Il consacre des études particulières, par exemple, à la question des vacances ouvrières, et il s'efforce de pousser plus avant ses statistiques sur les salaires payés dans les différents pays. Il faut dire toutefois que, dans cette branche particulière de ses recherches, il n'est arrivé jusqu'ici qu'à de très médiocres résultats et que, malgré le perfectionnement certain de ses travaux en d'autres domaines, les statistiques qu'il a mises sur pied depuis quelques années ne peuvent, malgré tous ses efforts, fournir, sur le pouvoir d'achat des salaires, des renseignements que l'on puisse scientifiquement regarder comme exacts.

Enfin le Bureau international du Travail veut encore étendre le champ de ses études en traitant des conditions de travail de nouvelles catégories de travailleurs, et c'est pourquoi la Commission des Travailleurs intellectuels, dont fait partie votre délégué général, a été constituée. Cette Commission, au cours des deux sessions qu'elle a déjà tenues, s'est occupée en particulier de deux questions qui concernent les ingénieurs : celle du droit du salarié inventeur et celle de la clause de réemploi des ingénieurs et techniciens quittant une entreprise.

Nous avons dit, en passant, tout l'intérêt que présentent certains travaux du Bureau international du Travail, et nous devrions vous signaler par exemple ses publications techniques concernant la sécurité industrielle et l'hygiène du travail. Faut-il indiquer, après avoir applaudi à des tra-

vaux d'un caractère vraiment scientifique, la préoccupation que nous inspire cependant l'activité du Bureau international du Travail.

Nous craignons, tout d'abord, que le Bureau, au lieu de concentrer son effort sur l'étude de quelques problèmes essentiels, ne dissémine son attention sur une foule de questions, ne fût-ce que pour répondre aux sollicitations qui peuvent lui venir des milieux les plus divers. Il risquerait ainsi de perdre en autorité réelle ce qu'il gagnerait en facile popularité.

Le Bureau doit se garder, d'autre part, de rechercher en toute matière l'uniformisation. Chaque pays a ses habitudes et son génie propre ; chacun peut appliquer avec succès des formules particulières dans le régime des conditions de travail ou des relations industrielles. Il serait imprudent de vouloir imposer à l'un ce que les circonstances permettent à l'autre.

Enfin à mesure que de nouvelles conventions internationales égalisent de plus en plus les conditions de travail de la main-d'œuvre, on aperçoit mieux le grave danger qui pourrait résulter, pour les pays les moins favorisés par la fortune, de la politique égalitaire du Bureau international du Travail, dans le domaine de la protection ouvrière et des tendances libre-échangistes de la Société des Nations au point de vue économique. Pour améliorer le sort des travailleurs salariés, le Bureau international du Travail demande, en effet, à tous les Etats d'adopter un certain régime de travail, qui représente pour ces pays une charge très différente suivant l'état de leurs ressources en matières premières, en outillage, en capitaux, en main-d'œuvre, en moyens de transport, etc...

Si les conditions de travail minima fixées par les conventions sont voisines de celles que peuvent assurer à leurs ouvriers les pays les plus favorisés, si d'autre part la politique commerciale de la Société des Nations a pour effet de priver ces pays de la protection douanière à l'abri de laquelle ils pourraient peut-être réaliser ces réformes sociales sans trop de dommage, on peut craindre que cette double action n'aille à l'encontre de son but en créant, au profit de certains pays, des crises industrielles du chômage, et finalement des réactions nationales. Pour éviter ce péril, le Bureau internatienal du Travail devrait, à notre avis, se tenir dans de sages limites, et les conventions internationales de travail devraient constituer une moyenne raisonnable établie en tenant compte des législations des pays ayant atteint un certain degré de civilisation industrielle, mais dont l'économie est d'autre part à peine stabilisée. Peut-être n'est-ce pas toujours le cas des Etats qu'on nous propose en exemple.

Assemblées générales

Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 29 NOVEMBRE 1929.

Des rapports présentés à cette assemblée nous extrayons les renseignements qui suivent concernant l'exercice 1928-1929 de cette compagnie, au capital de 160 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 4, rue d'Aguesseau.

L'exercice finissant le 30 juin 1929 a été marqué par une activité industrielle normale et par une progression satisfaisante des abonnements, en sorte que le développement de la consommation d'énergie, qui avait marqué un temps d'arrêt dans l'exercice précédent (1), a repris son allure régulière; aussi, la quantité d'énergie produite ou achetée par la compagnie est-elle de 15 pour 100 environ supérieure à celle de l'an dernier. L'augmentation des recettes qui en est résulté s'est malheureusement trouvée atténuée du fait d'un régime hydraulique moins favorable, qui a conduit à une production d'énergie thermique sensiblement plus élevée. D'autre part, la hausse marquée par le prix de toutes les matières industrielles et par le taux de la main-d'œuvre est venue enfler les principaux chapitres de dépenses. Enfin, le développement de l'actif social a rendu nécessaires des attributions un peu plus larges à la réserve générale pour amortissements et au fonds de gros entretien et de renouvellement. Aussi, le bénéfice net de l'exercice 1928-1929 ne surpasse-t-il que faiblement celui de l'exercice précédent.

Les conditions techniques de la production et de la distribution de l'énergie ont été satisfaisantes pendant l'exercice et, à cet égard, l'on constate une amélioration progressive, conséquence des mesures prises depuis plusieurs années pour parer aux difficultés d'exploitation, particulièrement sensibles sur un réseau aussi étendu.

Dans le secteur de Saint-Etienne, l'utilisation des usines hydroélectriques s'est encore développée grâce aux débouchés qu'offre le domaine des ventes d'excédents et des applications à usage continu (fours électriques pour la métallurgie) ou nocturne (chauffage par accumulation); c'est ainsi qu'un contrat très important a été conclu avec l'un des principaux établissements métallurgiques pour l'alimentation de fours électriques. En outre, des accords avec diverses sociétés productrices d'énergie ont donné lieu à des échanges actifs tendant à une compensation partielle des insuffisances réciproques. L'usine de l'Ance du Nord a été complètement remise en service au mois d'août 1928 et, par suite, sa production durant l'exercice n'a pas été affectée sensiblement par l'accident signalé l'an dernier. Le règlement des réparations est toujours en discussion avec les assureurs.

Le secteur de Roanne a été alimenté, dans une mesure accrue, par la ligne à 120 000 v de la Société de Transport d'Energie du Centre; de plus, une partie du courant de l'usine de la Haute-Isère a pu lui être livrée par la ligne à 30 000 v Villefranche-sur-Saône-Roanne.

Le secteur de Montluçon a souffert de la sécheresse très accentuée qui s'est manifestée durant l'été 1928 et pendant le mois d'avril 1929. Mais les conséquences de cette situation ont été atténuées par la mise en œuvre de l'usine de Saint-Jean, qui a fourni de l'énergie de complément à un prix de revient meilleur que celui des anciennes sources d'énergie thermique. Le développement de l'industrie et l'extension considérable des réseaux ruraux dans ce secteur provoquent un accroissement rapide des consommations, et

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 23 février 1929, t. XXV, p. 309-310.

il a fallu agrandir dès maintenant cette usine. La mise en service prochaine de la ligne à 150 000 v de la Société de Transport d'Energie du Centre, entre Roanne et Montluçon, assurera définitivement à ce secteur la stabilité des moyens de production, qui jusqu'ici lui avait fait défaut en raison de sa situation isolée.

Pour l'ensemble des trois secteurs, la progression de la clientèle au cours des huit dernières années est résumée dans le tableau suivant, qui donne les chiffres atteints au 30 juin de chaque année.

Années.	Nombre d'abonnés.	Nombre de lampes réduites en unités de 35 watts.	Nombre de chevaux de force motrice.
1922.....	48 277	276 447	66 111
1923.....	56 287	319 342	64 955
1924.....	64 372	365 668	69 518
1925.....	72 868	419 884	73 954
1926	81 110	482 370	85 942
1927.....	89 620	543 120	101 220
1928.....	98 014	608 352	113 210
1929.....	105 726	699 379	124 051

D'importants travaux ont été exécutés ou sont en cours d'exécution dans ces trois secteurs.

Dans le secteur de Saint-Etienne, de nombreux branchements et 23 postes de quartiers ou de villages ont été exécutés en vue de desservir des abonnés nouveaux. Le poste de la Rivière a reçu un transformateur supplémentaire qui en renforcera sensiblement la puissance. Le réseau à 30 000 v s'est étendu par la construction d'une ligne qui part de l'usine de Pont-de-Lignon et se dirige vers Yssingeaux, pour livrer de l'énergie d'appoint au secteur du Puy ; en outre, l'on a poursuivi l installation d'une artère à grande capacité, qui doit relier le poste de la Rivière au poste de répartition de Montaud.

Dans le secteur de Roanne, on a entrepris la construction d'une ligne à 30 000 v et d'un poste de transformation, qui fourniront du courant au réseau de l'Energie électrique de la Côte roannaise, société dans laquelle la compagnie a pris récemment une importante participation. En même temps a été poursuivie l'électrification de communes rurales, ainsi que les travaux normaux d'extension et de renforcement.

Dans le secteur de Montluçon a été entreprise l'installation d'un deuxième groupe turboalternateur à l'usine de de Saint-Jean. D'autre part, des travaux très importants ont été effectués pour l'établissement de nouveaux réseaux ruraux s'étendant sur 145 communes réparties sur les départements de l'Allier, du Cher et de la Creuse.

Le rapport donne ensuite quelques renseignements sur les différentes sociétés dans lesquelles la compagnie est intéressée.

L'exercice écoulé de l'Union électrique accuse une amélioration des résultats d'exploitation par rapport à l'exercice précédent; le bénéfice brut d'exploitation atteint 10 millions 293 927 fr contre 9 152 380 fr pour l'exercice 1927-1928 ; comme pour les années précédentes, le bénéfice a dû être employé à doter les fonds de prévoyance et les réserves en vue de consolider la situation financière de la société.

La Société Energie électrique de la Basse-Isère a fourni à la compagnie, pendant l'exercice, 99 831 556 kw-h contre 89 696 650 kw-h pour l'exercice précédent.

La Société de la Haute-Isère a livré pendant l'exercice à l'Union électrique et au secteur de Roanne 30 534 744 kw-h contre 23 193 767 kw-h pour l'exercice précédent.

La Société de Transport d'Energie des Alpes a poursuivi activement les travaux de construction de la ligne à 120 000 v qui doit relier à Beaumont-Monteux l'artère Haute-Isère-Lyon. La mise en service prochaine de cette ligne permettra de faire arriver à Saint-Etienne le courant de la Haute-Isère au moyen des lignes Beaumont-Monteux-Saint-Etienne.

La Société de Transport d'Energie du Centre a poursuivi l'installation de la ligne à 150 000 v Roanne-Montluçon et du poste de transformation de Montluçon. Les travaux, actuellement très avancés, permettent de prévoir que la jonction des secteurs de Roanne et de Montluçon sera un fait accompli avant l'été 1930.

La Société hydroélectrique de l'Eau d'Olle a livré, pendant l'exercice, 48 008 880 kw-h contre 34 427 600 kw-h pour l'exercice précédent.

D'après le compte de profits et pertes les bénéfices d'exploitation des secteurs ont été de 38 161 014,46 fr; il en est déduit une somme de 4 476 179,27 fr représentant une partie des recettes encaissées dans la commune de Saint-Etienne et quelques communes environnantes, le litige au sujet des tarifs à appliquer dans ces communes n'étant pas encore réglé par les tribunaux; les bénéfices d'exploitation ressortent ainsi à 33 684 835,19 fr. Le revenu du portefeuille étant de 257 845,13 fr et les intérêts sur comptes courants et divers, de 1 538 642,18 fr, le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 35 481 322,50 fr.

Au débit de ce compte figurent : frais généraux d'administration, 1 445 058,93 fr; intérêts des obligations et charges des emprunts, 5 107 867,17 fr; attribution au fonds de gros entretien et de renouvellement, 14 000 000 fr; provision pour litiges en cours, 2 343 225,40 fr; prélèvements pour amortissements, 2 000 000 fr; amortissements sur le compte primes de remboursement et frais d'émission des obligations, 87 074,55 fr.

Le bénéfice de l'exercice 1928-1929 se trouve ainsi être de 10 498 096,45 fr, en légère augmentation sur celui de l'exercice précédent, qui était de 10 248 230,39 fr.

Compte tenu du report des exercices antérieurs, soit 806 410,74 fr, la somme à répartir s'élève à 11 304 507,19 fr. Sa répartition est faite comme il suit : réserve légale, 524 904,83 fr; intérêt de 6 pour 100 aux actions A sur 110 millions de francs, 6 600 000 fr; 3 pour 100 aux actions B sur 1 million de francs, 30 000 fr; 10 pour 100 sur 3 millions 343 191,32 fr, au conseil d'administration, 334 319,16 fr; affectation au fonds de gros entretien et de renouvellement, 1 000 000 fr; dividende supplémentaire de 2 pour 100 aux actions, 2 220 000 fr; report à nouveau, 595 283,20 fr.

Le dividende total des actions est ainsi de 20 fr pour les actions A et de 3,125 fr pour les actions B, payable sous déduction des impôts depuis le 2 décembre 1929.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Apports, frais de constitution et de premier établissement.....	pour mémoire.
Primes de remboursement et frais d'émission des obligations.....	6 045 924,62
Mobilier, outillage, chevaux, voitures et automobiles.....	1 »
Acquisitions et dépenses en vue de projets nouveaux.....	1 »
Immobilisations, secteur de Saint-Etienne.....	126 473 844,62
Id. Id. de Roanne.....	23 321 490,60
Id. Id. de Montluçon	34 254 844,21
A reporter....	190 096 106,05

	fr
Report...	190 096 106,05
Appareils en location	10 450 128,92
Terrains, droits de riveraineté et divers	87 882,15
Espèces en caisses et en banques	18 518 482,79
Actionnaires	3 000 000 »
Abonnés et clients	17 519 004,42
Impôts et droits à recouvrer	2 077 994,97
Cautionnements	51 239,90
Débiteurs divers	23 698 918,45
Portefeuille et participations	36 951 015,45
Marchandises en magasin et dans les dépôts	11 483 491,31
	313 934 264,41

Passif.

	fr
Capital :	
440 000 actions A de 250 fr	110 000 000 »
15 000 actions B de 250 fr	4 000 000 »
Réserve légale	3 445 741,59
Réserve générale pour amortissements	15 154 500 »
Provisions pour travaux de gros entretiens et de renouvellement	21 939 221,40
Provision pour litiges en cours	5 623 287,22
Obligations Loire, 4,5 pour 100, émission 1904	62 000 »
Id. Id. 4,5 pour 100, 1re émission 1909	1 442 500 »
Id. Id. 4,5 pour 100, 2e Id. 1909	1 192 000 »
Obligations Loire-Centre, 5 pour 100, série A	11 745 500 »
Id. Id. 5 pour 100, série B	8 543 500 »
Id. Id. 6 pour 100, 1917	13 870 000 »
Id. Id. 6 pour 100, 1920	18 493 500 »
Id. Id. 6 pour 100, 1922	19 820 500 »
Salaires restant à payer	415 016,45
Administration de l'enregistrement	971 486,37
Fournisseurs et effets à payer	14 963 643,48
Avances sur consommation	3 745 563,85
Caisse des pensions de rétroactivité du personnel	2 877 767,35
Coupons à payer, intérêts sur obligations et obligations à rembourser	2 806 485,16
Recettes provisionnelles et en attente	20 592 107,37
Divers	20 925 436,98
Reliquat des exercices antérieurs	806 410,74
Bénéfices nets de l'exercice 1928-1929	10 498 096,45
	313 934 264,41

Société artésienne de Force et Lumière.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 6 NOVEMBRE 1929.

D'après le rapport du conseil d'administration de cette société, au capital de 36 millions de francs et dont le siège est à Paris, 97, rue de Lille, les ventes d'énergie électrique du 1er juillet 1928 au 30 juin 1929, se sont élevées à 54 888 940 kw-h, en augmentation d'environ 20 pour 100 sur celles de l'exercice précédent; les ventes de gaz ont atteint 7 470 492 m³ en augmentation de plus de 27 pour 100; en fin d'exercice le nombre des abonnés était de 82 684 pour l'énergie électrique et de 12 691 pour le gaz.

Pendant cet exercice, l'électrification rurale a été poursuivie activement; le nombre des communes desservies était, au 30 juin 1929, de 445, en augmentation de 103 sur celui relevé au 30 juin 1928. La société se propose de faire un effort analogue pendant l'exercice en cours.

La longueur des lignes en service est passée, du 30 juin 1928 au 30 juin 1929, de 2 770 à 3 444 km.

La comparaison du bilan en fin d'exercice avec le bilan précédent (1) montre que le montant des immobilisations est passé de 58 968 867,80 fr à 68 267 418,40 fr; l'augmentation de 9 298 550,80 fr résulte principalement : de l'accroissement du réseau (5 079 269,33 fr), du développement des usines à gaz et du réseau de gaz surpressé (739 331,02 fr), de l'importance plus grande des installations en location (3 444 128,42 fr). Au passif, les comptes exigibles (créditeurs divers et avances sur consommation) sont en augmentation de 10 008 984,34 fr.

Le compte de profits et pertes accuse un bénéfice brut d'exploitation de 12 719 665,89 fr; après prélèvement de 2 948 973,99 fr pour amortissement des installations, le bénéfice net ressort à 9 770 691,90 fr.

Ce bénéfice est réparti comme il suit : 488 534,59 fr à la réserve légale, 1 800 000 fr pour intérêt de 5 pour 100 aux actions, 748 215,73 fr au conseil d'administration. Le solde, soit 6 733 941,58 fr, ajouté au report de l'exercice précédent, donne un total de 7 114 542,97 fr. Sur cette somme il est prélevé : 3 240 000 fr pour dividende supplémentaire, 1 800 000 fr pour provision pour éventualités diverses, 2 000 000 fr pour provision pour le développement de la société. Il est reporté 74 542,97 fr.

Le dividende brut des actions se trouve ainsi fixé à 70 fr comme l'an dernier.

BILAN AU 30 JUIN 1929.

Actif.

	fr
Réseau électrique	37 983 418,68
Usines à gaz et réseau de gaz surpressé	12 455 385,70
Installations en location	15 645 603,72
Terrains et immeubles	2 183 010,30
Valeurs	271 225 »
Caisses	359 070,84
Banquiers	1 302 590,81
Participations	6 008 851,51
Clients	6 135 590,92
Débiteurs divers	9 690 156,40
Installation de lignes et postes (travaux en cours)	13 255 686,72
Provision pour le placement du premier coupon de l'emprunt des compagnies d'énergie électrique	145 444,60
Droits sur actions	822 751,22
Conventions d'annuités et titres K	10 157,25
Approvisionnements et divers	5 854 919,66
	112 123 863,33

Passif.

	fr
Capital-actions (72 000 actions de 500 fr)	36 000 000 »
Obligations 7 pour 100, emprunt 1927	16 000 000 »
Réserve légale	1 763 892,15
Réserve spéciale	6 118 134,57
Provision pour le développement de la société	10 300 000 »
Provision pour éventualités diverses	3 221 294,12
Amortissements	7 429 250,46
Créditeurs divers	19 077 414,51
Avances sur consommation	2 062 584,23
Report à nouveau sur l'exercice 1927-1928	380 601,39
Bénéfices au 30 juin 1929	9 770 691,90
	112 123 863,33

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 958.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVII. — N° 13. — 29 MARS 1930.

Chronique. — Commission électrotechnique internationale : Programme de la session plénière de 1930 (27 juin-9 juillet), p. 473. — Nécrologie : Gustave Naville, p. 474. — Bibliographie : La houille blanche, par Henri CAVAILLES, p. 474; Introduction à une connaissance scientifique des faits musicaux, par Pius SERVIEN, p. 474.

Section scientifique et technique. — Equivalent de transmission, par J.-B. POMEY, p. 475. — Note complémentaire relative à l'évaluation de la charge maximum d'un réseau électrique, p. 481. — Revues, analyses et informations : Quelques propriétès thermiques et électriques du beryllium, p. 482; Résistivité et coefficient de température du plomb, de l'étain, du zinc et du bismuth à l'état solide et à l'état liquide, p. 483; Les dépôts électrolytiques sur l'aluminium et ses alliages, p. 484 ; Théorie ondulatoire et rayonnement noir, p. 485; Rapport sur les travaux de recherches exécutés à la Fondation Bartol de 1928 à 1929, p. 486.

Section industrielle. — Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu (*suite et fin*), par A. DELLA RICCIA, p. 487. — Revues, analyses et informations : L'accumulation d'énergie par pompage, p. 499.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises pendant les douze mois de l'année 1929, par J. REYVAL, p. 501. — Le mouvement des salaires en France en 1929, p. 515.

Section de législation. — Les transformateurs d'énergie électrique et la contribution foncière (Arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier, du 27 novembre 1929), par Louis REMAURY, p. 517. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret modifiant le décret du 9 juin 1928 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 25 avril 1924 sur l'emploi obligatoire des mutilés de guerre, p. 519; Décret portant règlement d'administration publique pour l'application des articles 1er à 9 et 13 à 17 du décret du 28 décembre 1926, sur les régies municipales et la participation des communes à des entreprises privées, p. 520; Arrêt du Conseil d'Etat du 6 décembre 1929 stipulant que les kiosques à journaux ne sont pas imposables à la contribution foncière, p. 520; Sur les instructions ministérielles concernant l'application des règles de la brochure 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité, p. 520.

Commission électrotechnique internationale : Programme de la session plénière de 1930 (27 juin-9 juillet).

— Ainsi que nos lecteurs le savent par les diverses informations que nous avons publiées à ce sujet, la septième session plénière de la Commission électrotechnique internationale se tiendra en Scandinavie du 27 juin au 9 juillet 1930.

D'après le programme qui vient d'être publié, la séance d'ouverture aura lieu à Copenhague dans la matinée du vendredi 27 juin. L'après-midi sera consacré à une visite de la ville et de ses environs ; le soir, un dîner sera offert par le Comité électrotechnique danois.

Le lendemain, un train spécial amènera les délégués à la nouvelle usine génératrice de Karsefors, sur le fleuve Lagan, puis à deux des usines de l'Etat suédois, celle de Lilla Edet (puissance 22 500 kw) et celle de Trollhättan (120 000 kw). A minuit, un train spécial composé de wagons-lits quittera Trollhättan pour Stockholm, prendra la ligne entièrement électrifiée de Gothenburg à Stockholm (450 km) et arrivera dans cette dernière ville le dimanche matin vers 10 heures.

Les comités d'études commenceront leurs travaux le lundi 30 juin à 9 h 30 du matin et les continueront chaque jour, matin et après-midi, jusqu'au samedi soir 5 juillet, à l'exception du jeudi 3 juillet, qui sera consacré à une visite des usines de l'Allmäna svenska elektriska Aktiebolaget (ASEA), à Västeras, et à celle de l'usine thermique que l'Etat suédois fait construire à Västeras pour venir en aide, en cas de besoin, aux usines génératrices hydrauliques.

Sur les dix-neuf comités d'études qui ont été institués par la Commission électrotechnique internationale, quinze seulement tiendront séances ; les quatre comités dont la réunion n'a pas été prévue sont : Comité des Moteurs hydrauliques, Comité des Culots et Supports de Lampes, Comité des Marques des Bornes, Comité des Installations sur les Navires. Pour les quinze autres comités, le programme indique 70 séances inégalement réparties entre eux, certains comités comme le Comité de la Nomenclature et le Comité des Spécifications des Machines devant tenir chacun 10 séances, sans compter les séances supplémentaires qui probablement, si l'on se réfère à ce qui eut lieu à Bellagio en 1928 seront ajoutées au programme et se tiendront pendant les soirées que laisseront libres les réceptions officielles.

Les délégués quitteront Stockholm, par train spécial, le samedi 5 juillet vers 20 heures et arriveront le lendemain à Oslo à 10 heures ; ceux d'entre eux qui le désireront pourront s'arrêter à Raanaasfoss pour visiter l'usine génératrice ; des autocars les conduiront ensuite à Oslo où ils arriveront vers 13 heures. Dans l'après-midi aura lieu la visite à la ville d'Oslo et, à 19 heures, un dîner officiel.

Pour la journée du lundi, le programme prévoit d'eux excursions, permettant de visiter, l'une, les usines de Rjukan, de la Société norvégienne de l'Azote et des Forces hydroélectriques, l'autre, l'usine de Nore de l'Etat suédois, usine dont la puissance, actuellement de 100 000 kw, sera portée ultérieurement à 200 000 kw. Les délégués prenant part à l'une ou l'autre de ces excursions devront partir d'Oslo le lundi dès 0 h 30; ceux qui choisiront la seconde seront de retour à Oslo dans la soirée du même jour à 22 h 30; ceux qui visiteront les usines de Rjukan n'arriveront à Oslo que le lendemain mardi à 7 heures du matin.

La journée du mardi sera consacrée à la visite de l'usine de Vamma, d'une puissance de 80 000 kw, dont une partie de la production d'énergie électrique est utilisée pour l'obtention du zinc et la fabrication du carbure de calcium, ainsi qu'à la visite de l'usine génératrice de Solbergfoss, qui appartient à l'Etat norvégien et à la ville d'Oslo.

La réunion du Conseil de la Commission et l'Assemblée plénière de clôture auront lieu le mercredi après-midi.

Après la clôture de la session, le Comité électrotechnique norvégien organisera une excursion à Trondhjem et à Troldfjord où, d'après le programme, « on verra le soleil de minuit dans un décor d'une beauté incomparable ».

Nécrologie : Gustave Naville. — L'un des pionniers de l'industrie de l'aluminium vient de disparaître : le colonel Naville, qui fut pendant de nombreuses années président de l'Aluminium Aktiengesellschaft de Neuhausen, est décédé à la fin de l'année 1929, à l'âge de 82 ans, dans sa propriété près de Zurich. Dans son numéro de mars, le « Journal du Four électrique et des Industries électrochimiques » consacre à sa carrière industrielle la notice qui suit.

Ingénieur et industriel, militaire, Gustave Naville joua pendant sa longue existence un rôle de premier plan dans les milieux de techniciens suisses, dont il présida longtemps les diverses associations. Mais c'est surtout comme fondateur de l'industrie de l'aluminium dans son pays, que nous tenons ici à lui rendre l'hommage qui lui est dû. Il fut l'un des tout premiers à faire confiance à Paul Héroult lorsque celui-ci prit, en 1886 et 1887, ses brevets sur la fabrication électrolytique de l'aluminiem. Grâce à Gustave Naville, alors chef de la maison Escher Wyss et Cie, de Zurich, la première usine d'aluminium d'Europe fut installée en 1887, au pied de la fameuse chute du Rhin, à Neuhausen, près de Schaffhouse. Celle de Froges, en France, dans la vallée de l'Isère, ne fonctionna que quelques mois plus tard.

Et le colonel Naville ne cessa par la suite de travailler au développement de la nouvelle industrie, prenant une part prépondérante aux réunions internationales des producteurs d'aluminium qui poursuivaient le même but et y jouant le plus souvent un rôle de conciliation.

Aussi est-ce avec émotion qu'on a pu lire dans l'annonce de décès de Gustave Naville par la Société pour l'Industrie de l'Aluminium, ces mots qui résument le caractère de l'homme éminent que la Suisse vient de perdre : « La largeur de vues, le sens avisé des affaires, la bonté de cœur et la noblesse de caractère dont il fit preuve en tout temps et notamment durant les années de sa présidence, assurent à la mémoire de notre vénéré président le plus fidèle souvenir et la sincère reconnaissance de tous ses collaborateurs ».

Bibliographie : La houille blanche, par Henri Cavailles (1). — Dans cet ouvrage de la collection Armand Colin, l'auteur se propose de montrer le parti que l'on peut tirer de l'utilisation de l'énergie hydraulique. Considérant le problème à un point de vue très général, c'est-à-dire sans entrer dans des développements d'ordre essentiellement technique, il fait d'abord ressortir la diversité des caractéristiques de cette énergie, au point de vue de la forme sous laquelle elle se présente : haute chute et faible débit ou, inversement, faible chute et grand débit; cours d'eau de débit très variable dans les saisons ou, au contraire, cours d'eau à débit plus régulier.

On sait la contribution de l'électricité à cette utilisation de l'énergie hydraulique; rapidement, dans les premiers chapitres de son ouvrage, l'auteur rappelle ce que sont la distribution et les modes variés d'utilisation de l'énergie électrique.

Où en est-on, en France et hors de France, dans la transformation de l'énergie hydraulique en énergie électrique et dans les applications de cette énergie ? Ce sont là les questions examinées dans les chapitres suivants. Les Alpes, le Jura, les Pyrénées, le Massif central, sont des régions qui, au point de vue qui nous occupe, ont chacune un caractère bien déterminé, que l'auteur fait ressortir en montrant comment, dans chaque cas, a été résolu le problème de l'utilisation de l'énergie disponible. Cet examen, plus sommaire, s'étend aux autres pays.

Des données numériques sur les disponibilités en énergie de chacune des régions considérées et sur les résultats obtenus permettent de prévoir ce qu'il reste encore à faire pour réaliser une meilleure et plus complète utilisation, en tenant compte des conditions propres à chaque région, conditions que l'auteur est parvenu à faire nettement ressortir dans son exposé. — A. C.

Bibliographie : Introduction à une connaissance scientifique des faits musicaux, par Pius Servien (2). — Bien que le sujet de ce petit ouvrage ne soit pas de ceux traités généralement dans cette revue, il est cependant original et de nature à intéresser ceux de nos lecteurs qui ne sont pas indifférents aux théories de la musique. L'auteur s'occupe d'abord de la dyssymétrie, condition d'un phénomène et de la symétrie, condition de sa cessation. Il est conduit ainsi à définir la musique cyclique dans laquelle à tout élément considéré comme ouvrant une dyssymétrie répond un élément qui la ferme. C'est le décalage entre la correspondance observée et la symétrie prévue qui fournit une mesure globale des réactions propres de la matière soumise à l'action de la musique.

A l'opposé de cette musique cyclique est la musique linéaire avec laquelle on n'atteint pas le repos par retour à la symétrie.

L'auteur consacre un important chapitre à la reconnaissance des thèmes musicaux d'après des exemples empruntés à Bach, à Wagner, à Franck, etc. Enfin le dernier chapitre intitulé « assymétrie et probabilité des gammes » étudie notamment les transformations à l'intérieur de l'octave, la prééminence de la diatonique et le rôle de l'harmonie. — L. V.

(1) Un volume, format 16,5 × 10,5 cm, de 216 pages, avec 11 figures dans le texte, édité par la librairie Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, à Paris. Prix : broché, 9 fr.

(2) Une brochure, format 22 cm × 14 cm, de 56 pages, éditée par la Librairie scientifique Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris. Prix : broché 7,50 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Equivalent de transmission (*)

Dans les directives du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance est introduite l'unité de transmission à laquelle on donne les noms de « bel » ou de « néper » suivant que le système de logarithme auquel on se réfère est le système de base 10 ou cclui des logarithmes naturels. M. Pomey expose, dans l'article qui suit, les raisons qui justifient le choix d'une unité de transmission, bien que la grandeur correspondante soit un simple rapport. Puis, après avoir rappelé la définition générale de cette unité, il examine les divers cas qui sont envisagés dans cette définition, les grandeurs comparées étant successivement le courant, la tension et la puissance réelle ou apparente et il donne la spécification de la ligne artificielle de référence adoptée pour la mesure des équivalents de transmission, en remplacement des cables « standard » américains et anglais, qui présentaient, entre autres inconvénients, celui de n'avoir pas les mêmes caractéristiques aux Etats-Unis et en Angleterre. Cet aperçu sur les discussions qui ont conduit le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance à l'établissement de ses directives sur les unités de transmission et sur les méthodes de mesure correspondantes précise la signification du terme « unité de transmission » et montre le parti que l'on peut tirer de l'introduction de cette unité dans l'étude des circuits téléphoniques.

I. Grandeurs physiques sans dimension. — Dans la théorie des machines thermiques, on introduit la notion de rendement. Par exemple, en considérant le cycle théorique, on calcule la dépense de vapeur requise par une machine idéale substituée, avec les mêmes pressions d'admission et d'échappement, à une machine réelle; mais le poids de vapeur qui donnerait un kilowatt-heure dans la machine idéale ne donne en réalité qu'une moindre quantité de travail; la fraction de kilowatt-heure ainsi obtenue définit le rendement de la machine réelle comparée à la machine idéale. Et M. Sauvage, à qui nous venons d'emprunter cette définition, met en note : Il importe d'éviter toute confusion entre les divers rendements qu'on est amené à considérer. On ne doit jamais employer cette expression sans la définir avec précision.

Il est bien clair que, lorsque l'on cherche à améliorer le rendement d'une machine à vapeur, on améliore une qualité physique ou mécanique de cette machine. On est donc en droit de considérer le rendement dont il vient d'être question comme une grandeur physique, comme l'une de celles qui peuvent servir à caractériser la machine. Cependant il s'agit là du rapport de deux grandeurs de même espèce; le rendement est une fraction, quotient de deux nombres de kilowatts heures. Il y a donc des grandeurs physiques sans dimension. Citons encore la densité par rapport à l'eau, le coefficient d'absorption, etc.

Mais remarquons qu'une même machine a des rendements différents suivant les conditions dans lesquelles on la fait travailler; si donc on veut que le rendement représente une grandeur physique caractéristique de la machine même, non seulement il conviendra que les conditions de travail soient fixées, mais encore que ces conditions soient en rapport déterminé avec certaines caractéristiques de la machine elle-même; autrement, la grandeur mesurée ne serait pas une propriété intrinsèque de la machine, et la considération du rendement perdrait toute valeur, pour les comparaisons que l'on voudrait faire entre machines. Il ne serait possible d'en tirer aucun enseignement.

Les mécaniciens n'ont donné aucun nom spécial à l'unité de rendement. A quoi bon, dira-t-on, puisque c'est un rapport? Un nom propre aurait cependant l'utilité, pour chaque espèce de rendement, de déterminer les conditions dans lesquelles le rapport a été mesuré.

M. Breisig faisait observer que lorsque nous parlons de 5 pour 100, le signe pour 100 joue le rôle d'une véritable unité égale à 1 centième.

L'équivalent de transmission, dont se servent les techniciens du téléphone, est aussi un pur nombre; c'est pourquoi nous avons jugé nécessaire ce préambule, d'autant plus que, lui aussi, on l'applique à des cas divers, tout comme le rendement; pour qu'il corresponde à des qualités intrinsèques d'un quadripôle, il faut, dans chaque application, préciser les conditions expérimentales.

II. Equivalent de transmission en téléphonie. — Le document imprimé auquel il y a lieu de se référer est le livre vert intitulé : « Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande

(*) Erratum. — Dans l'article de M. J.-B. Pomey; Quadripôles et filtres. *Revue générale de l'Electricité*, 15 février 1930, t. XXVII, p. 235-242, lire à la fin du paragraphe I, p. 235, deuxième colonne : I_1 et I_2, les résistances à circuit ouvert, et non les courants (Notations de Vaschy).

Distance : Assemblée plénière de Paris, 11-18 juin 1928. » Il y a lieu de l'ouvrir à la page 32 : « Transmission. A. Avis du Comité : Généralités ; Etalons de transmission et définitions ; Unité de transmission. » Nous allons analyser cet avis.

Il constate l'accord unanime en ce qui concerne la nature et le but de l'unité de transmission, à savoir que cette unité doit servir à exprimer les rapports des puissances apparentes ou réelles, des tensions ou des courants dans les systèmes de transmission et qu'en pratique on utilisera les logarithmes de ces rapports.

Je vais essayer d'expliquer pourquoi on veut utiliser les logarithmes. Et à cet effet, je ferai une comparaison : pourquoi, dans la géométrie cayleyenne, où la distance de deux points donnés dépend du rapport anharmonique de ces deux points et des deux points où la droite qui les joint coupe la conique, prise pour absolu, pourquoi, dis-je, définit-on la distance par le logarithme de ce rapport ? C'est pour que, étant donné trois points en ligne droite A, B, C, la somme des distances AB + BC soit égale à AC. Eh bien ! la distance du poste de départ au poste d'arrivée se compte, en quelque sorte, électriquement en unités de transmission et l'on veut que, si la ligne de transmission est divisée par exemple en trois tronçons AB, BC et CD, auxquels correspondent des unités de transmission b_1, b_2, b_3, tandis que b est l'équivalent pour la ligne totale, on ait $b = b_1 + b_2 + b_3$. Soient P_A la puissance fournie à AB, P_B celle transmise à BC, P_C celle transmise ensuite à CD et P_D celle reçue en D, on aura pour rendement en puissance

$$\frac{P_D}{P_A} = \frac{P_D}{P_C} \times \frac{P_C}{P_B} \times \frac{P_B}{P_A}$$

d'où

$$\log \frac{P_D}{P_A} = \log \frac{P_D}{P_C} + \log \frac{P_C}{P_B} + \log \frac{P_B}{P_A}.$$

Ainsi donc, au lieu de parler de rendements, on parlera d'équivalents de transmission et au lieu d'avoir à faire des multiplications, on aura à faire des additions. Et si l'on a une ligne homogène, il est évident que l'équivalent sera proportionnel à la longueur, chaque petit tronçon élémentaire étant considéré comme une petite machine qui a son rendemeut.

Il est d'ailleurs certain qu'au point de vue historique, c'est la considération de la ligne homogène qui a conduit à cette conception.

Envisageons, en effet, une ligne homogène que nous supposerons indéfinie de façon que chaque élément se trouve dans les mêmes conditions que le voisin. Dans l'intervalle de deux points séparés par une distance l, on a, entre les tensions à l'origine et à la fin, la relation

$$V_1 = V_0 e^{-\gamma l},$$

avec

$$\gamma = \sqrt{(R + \omega L j)(G + \omega C j)},$$

R, L, G, C étant les constantes primaires par unité de longueur, ω le rapport de 2π à la durée de la période. Il s'agit, bien entendu, d'un courant harmonique simple de fréquence $\frac{1}{T}$.

J'emploie à dessein ces expressions, parce que le C. C. I. (nous appellerons ainsi désormais, pour abréger, le Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance) demande qu'on exprime les fréquences en nombre de périodes par seconde.

Nous n'admettons pas le mot *cycle*, comme abréviation pour *période par seconde*. Le *hertz*, comme unité de fréquence, a été envisagé favorablement par le Comité électrotechnique français, mais le Congrès d'Oslo aura à se prononcer. Le C. C. I. déconseille l'expression de vitesse angulaire en radians par seconde. La notation p p s ne me paraît pas heureuse ; nous mettrons p : s.

S'il s'agissait de courants, au lieu de tensions, on aurait de même

$$I_1 = I_0 e^{-\gamma l}.$$

Enfin si l'on prenait le rapport des volts-ampères, on aurait

$$V_1 I_1 = V_0 I_0 e^{-2\gamma l}.$$

La loi exponentielle est donc celle de la propagation sur une ligne *indéfinie*. On pose, en séparant la partie réelle et la partie imaginaire

$$\gamma = \beta + \alpha j,$$

(j étant le symbole des imaginaires). D'autre part, les quantités que nous avons appelées V_1, I_1, V_0, I_0 sont des grandeurs complexes (qui représentent vectoriellement les tensions et les courants). Elles ont donc un module et un argument. Représentons les modules en mettant la grandeur considérée entre barres verticales, on aura, dans le cas particulier que nous venons de considérer

$$\beta l = \log \frac{|I_0|}{|I_1|} = \log \frac{|V_0|}{|V_1|} = \frac{1}{2} \log \frac{|V_0 I_0|}{|V_1 I_1|}.$$

On a l'habitude d'écrire b à la place de βl et, dans le cas présent, b est l'équivalent de transmission du tronçon de ligne homogène indéfinie que nous avons considéré entre deux points quelconques de cette ligne, séparés par une distance l.

On supprime les barres indiquant qu'on prend la valeur absolue des tensions ou des courants, si l'on s'est arrangé pour que les tensions ou courants à comparer aient même phase.

III. **Choix du système de logarithmes.** — Le C. C. I. constate que les différentes Administrations conservent leurs opinions respectives sur la question de savoir si l'on emploiera les logarithmes népériens ou les logarithmes décimaux ; il rappelle que chacune a présenté depuis longtemps de nombreux arguments et qu'un vote du C. C. I. serait inefficace ; enfin il

remarque que la conversion ne présente pas de difficulté. Le C. C. I. ajoute la raison : c'est que l'accord est réalisé en ce qui concerne *le système de référence*. Mais je crois que si cet accord a pour effet de préciser les conditions électriques dans lesquelles on comparera une ligne donnée avec une ligne artificielle de référence, cet avantage pourra avoir de l'importance pour les mesures mêmes, mais il n'a aucun rapport avec le choix du système de logarithmes. La ligne artificielle, on le spécifie à la page 43, peut être graduée en échelons de 0,02 néper ou de 0,2 décibel, c'est-à-dire d'une manière qui se rattache à l'un ou à l'autre des systèmes de logarithmes.

Le C. C. I. admet donc que les deux systèmes de logarithmes népérien et décimal pourront être provisoirement employés et demande que dans la littérature technique, les équivalents, pertes ou gains de transmission, etc., soient exprimés simultanément à l'aide des deux unités de transmission qui en dérivent. Pour faciliter l'application de cette prescription, il donne une table de conversion. Que de prévenance,

IV. **Définition générale**. — L'unité de transmission sert à exprimer les rapports des puissances apparentes ou réelles, des tensions ou des courants dans les systèmes de transmission. En pratique, le nombre d'unités de transmission pour un cas donné est déterminé par une mesure logarithmique.

1° S'il s'agit de deux puissances P_1 et P_2, le nombre d'unités est, dans le système népérien,

$$\frac{1}{2}\log_e \frac{P_1}{P_2}$$

et dans le système décimal

$$\log_{10} \frac{P_1}{P_2}.$$

2° S'il s'agit de deux tensions V_1 et V_2 ou de deux courants I_1 et I_2 (il est probable qu'il est question ici, non des valeurs complexes, mais des valeurs efficaces ou des valeurs absolues au moment de leur maximum), on pose dans le système népérien

$$\log_e \frac{V_1}{V_2} \quad \text{ou} \quad \log_e \frac{I_1}{I_2},$$

et dans le système décimal

$$2\log_{10} \frac{V_1}{V_2} \quad \text{ou} \quad 2\log_{10} \frac{I_1}{I_2}.$$

L'unité népérienne porte le nom de *néper*.

L'unité décimale porte le nom de *bel*.

(Jean Néper, 1550-1617, baron écossais, inventeur des logarithmes et Alexandre-Graham Bell, inventeur du téléphone, à Boston, expérience du 10 mars 1876).

On pourra utiliser un sous-multiple décimal de ces unités : décinéper et décibel.

Dans les textes officiels du C. C. I. les noms des unités sont toujours écrits intégralement et les équivalents de transmission, les pertes ou gains, diaphonie, etc,, sont exprimés simultanément en népers et en décibels.

On dira, par exemple, un équivalent de transmission de 3 népers ou de 26 décibels.

Il est bien évident que lorsqu'on donne un certain nombre de népers comme équivalent de transmission pour les puissances ou pour les intensités de courant ou pour les tensions, on emploie dans les trois cas la même unité, le néper, bien que, dans chacun d'eux, l'équivalent de transmission se réfère à des propriétés électriques différentes de l'élément objet de la mesure ; c'est encore la même observation que l'on fera si l'on ne précise pas les conditions de l'expérience. Et enfin, le nombre indiqué n'aura une signification intrinsèque, relative à l'élément de ligne de transmission en expérience, que si l'on choisit convenablement ces conditions. Ce sont trois restrictions qu'il ne faut pas perdre de vue.

Il y a un mot qu'il convient d'éclaircir : celui de puissance apparente.

Dans l'électrotechnique courante, on distingue la puissance active et la puissance réactive. Ici la puissance réelle, c'est la puissance active, mais la puissance apparente, c'est le module de VI. On est obligé de considérer la puissance apparente et non pas la puissance réelle ; supposons en effet que l'élément examiné ait une résistance ohmique négligeable et une forte inductance ; le rendement en puissance réelle pourra être très bon et l'élément sera néanmoins mauvais au point de vue acoustique parce que les fréquences élevées ne passeront pas. On ne peut donc considérer uniquement le rendement énergétique. C'est pour cela qu'on préfère adopter, pour estimer la qualité d'un élément, le rendement en volts-ampères.

Les facteurs $\frac{1}{2}$ et 2 pour les puissances ont pour but d'établir l'accord entre les divers équivalents de transmission dans le cas de la ligne homogène indéfinie.

V. **Application**. — L'on se propose évidemment d'évaluer le rendement d'une transmission téléphonique. Or celle-ci s'effectue d'abonné à abonné par l'intermédiaire d'une ligne à grande distance ; cette ligne est sans doute la partie essentielle, mais il y a aussi à tenir compte des lignes urbaines de bureau central à abonné et des connexions et organes des bureaux sans compter les relais téléphoniques, appelés répéteurs en Belgique. (En France, dans l'exploitation des chemins de fer, on appelle répétiteurs, des signaux qui en reproduisent d'autres à distance. Le mot répéteur est mal formé, car il ne vient pas du supin, exemple récepteur et non receveur. Un mot à radical latin ne doit pas être retraduit de « l'américain ».) Or, on a vu que, pour une ligne homogène indéfinie considérée isolément, il s'introduisait tout naturellement un coefficient d'affaiblissement de la forme e^{-b} entre deux points distants d'une longueur l, car $b = \beta l$. Cependant, cette

constante d'atténuation n'est pas la seule constante importante à considérer : tout d'abord, nous avons vu que β n'est que la partie réelle de γ, de sorte que la constante de propagation γ est une grandeur complexe qui comprend la constante d'affaiblissement comme partie réelle et la constante de longueur d'onde comme partie imaginaire, et celle-ci n'est pas à négliger quand on étudie l'écho et la distorsion ; mais, en second lieu, on peut se préoccuper de l'effet qu'a une tension appliquée en un point sur le courant reçu en un autre point. On n'a plus affaire alors au rapport de deux grandeurs de même espèce et c'est l'impédance de la ligne qui intervient, grandeur complexe, qui présente aussi une partie réelle et une partie imaginaire.

La première idée que l'on a eue pour établir une comparaison entre les éléments ou organes insérés dans une communication a donc été de les assimiler à une portion de ligne homogène et de rechercher le nombre de *miles* de câble « standard » (1760 yards, environ 1609 mètres) que l'on pouvait leur substituer sans modifier la qualité de l'audition. Aux Etats-Unis est adopté un câble « standard » qui vaut 1,09 décinéper, celui adopté en Angleterre vaut 1,065 décinéper. Deux câbles « standard », c'est beaucoup ! Ayant fait venir d'Angleterre en France une installation de téléphonométrie, on oubliait le système métrique.

VI. **Ligne de référence.** — Les Allemands ont fait à l'adoption d'un câble comme système de référence l'objection que le câble ne transmet pas également bien toutes les fréquences.

C'est, je pense, pour éviter cette difficulté qu'on est tombé d'accord sur l'emploi d'une ligne artificielle de référence : cette ligne doit avoir une impédance caractéristique de 600 ohms (angle nul) ; ce qui veut dire que son impédance est une résistance pure sans partie réactive. Des écarts inférieurs à $\pm$ 1 pour 100 sur la valeur du module et à $\pm$ 2° sur la valeur de l'angle sont toutefois admissibles dans la bande des fréquences comprises entre 100 et 5000 p : s.

Ce que l'on appelle ici l'angle, en parlant d'une quantité complexe, c'est ce qu'en mathématiques on appelle l'argument. Nous voyons, d'autre part, que les téléphonistes limitent leur ambition à la reproduction fidèle des fréquences inférieures à 5000 p : s. Les disques phonographiques, à cause de la structure granuleuse même de la cire, ne reproduisent fidèlement que les fréquences inférieures à 7000 p : s. Pratiquement, sur les câbles d'usage courant on se contente de transmettre les fréquences qui vont, dans le cas le plus favorable, celui du fantôme, jusqu'à 3600 p : s pour les câbles de type I à charge mi forte et jusqu'à 6000 p : s pour ces mêmes câbles à charge légère. Mais dans les essais que l'on prévoit dans les directives du C. C. I., il n'est fait usage que d'une fréquence de 2000 p : s comme plus haute fréquence à transmettre.

En ce qui concerne le réglage de l'affaiblissement de la ligne artificielle de référence, on prévoit qu'il doit être réglable par échelons de 0,02 néper ou par échelons de 0,2 décibel au plus entre les limites de 0 à 6 népers ou de 0 à 60 décibels.

On ne peut lire cet article des directives sans se poser la question : comment construira-t-on une ligne artificielle qui soit une résistance pure de valeur donnée Z et qui donne un affaiblissement b variable par échelons ? Voici, par exemple, une solution : le diagramme de la figure 1 indique comment est constituée la ligne artificielle ; c'est un quadripôle dont les bornes d'entrée sont A et B et les bornes de sortie, C et D. Bouclons C et D sur l'impédance Z ; il faudra, comme première condition, que l'impédance mesurée aux bornes AB soit encore égale à Z. Soit, d'autre part, E_0 la tension entre A et B ; on veut que la tension entre C et D soit égale à $E_1 = E_0 e^{-b}$, si b est l'affaiblissement. Cela nous donne deux conditions qui déterminent R et r en fonction de Z et de b. La forme quadratique fondamentale est

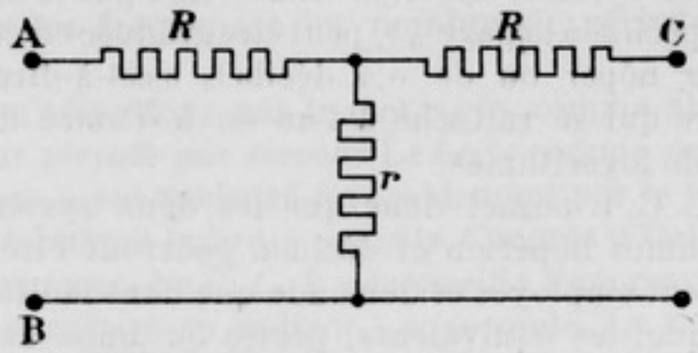


Fig. 1. — Schéma de la ligne artificielle de référence.

$$R(i_0^2 + i_1^2) + r(i_0 - i_1)^2$$

ou

$$(R + r)(i_0^2 + i_1^2) - 2ri_0i_1.$$

Celle d'une ligne homogène d'affaiblissement b et d'impédance Z est

$$Z \operatorname{cotgh} b\,(i_0^2 + i_1^2) - 2\frac{Z}{\sinh b} i_0 i_1,$$

d'où, par identification,

$$Z \operatorname{cotgh} b = R + r, \quad \frac{Z}{\sinh b} = r.$$

On en tire les valeurs des deux résistances r et R en fonction des données Z et b,

$$r = \frac{Z}{\sinh b}; \qquad R = Z \operatorname{tgh} \frac{b}{2}.$$

Dans notre cas, Z est donné, égal à 600 ohms ; par suite, un mécanisme convenable devra faire varier simultanément r et R, de façon que les deux dernières relations se trouvent toujours satisfaites et l'on mettra en regard de l'index les valeurs correspondantes de b.

Il est à noter que la ligne artificielle de référence ne remplit son but que si elle est fermée en C, D sur son

impédance caractéristique Z. S'il en était autrement, le rapport $\frac{E_1}{E_0}$ perdrait toute signification intrinsèque. C'est pourquoi le C. C. I., après avoir défini l'équivalent de transmission et les unités qu'il est loisible d'employer, donne les prescriptions utiles pour que la mesure soit correcte et il envisage les cas les plus importants.

VII. **Constantes d'un quadripôle.** — Théoriquement, le docteur John-R. Carson estime que les constantes qui définissent le plus clairement le quadripôle sont celles qui interviennent dans l'expression des tensions en fonction des courants ou des courants en fonction des tensions, savoir

$$I_0 = s_0 V_0 - s V_1, \qquad V_0 = r_0 I_0 - r I_1,$$
$$I_1 = s V_0 - s_1 V_1, \qquad V_1 = r I_0 - r_1 I_1.$$

Dans ces formules, on ne voit s'introduire aucune exponentielle; si donc on a à évaluer le rapport des puissances, à quoi bon recourir aux logarithmes népériens, au lieu d'écrire tout simplement

$$N = 10 \log_{10} \frac{P_0}{P_1}.$$

Le docteur Breisig remarque au contraire qu'il est possible de donner aux équations générales du quadripôle, même s'il n'est pas simplement passif, une forme qui dégénère d'une façon évidente et directe en la forme bien connue relative à une ligne homogène. Toute relation linéaire et homogène entre I_0, I_1 et V_0, V_1 peut, en effet, se mettre sous la forme

$$V_0 e^{-\delta} = V_1 \sqrt{\frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_1}}} \cosh g + I_1 \sqrt{\overline{Z_0 Z_1}} \sinh g,$$

$$I_0 e^{-\delta} = I_1 \sqrt{\frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_0}}} \cosh g + \frac{V_1}{\sqrt{\overline{Z_0 Z_1}}} \sinh g.$$

Nous avons, en effet, quatre constantes Z_0, Z_1, g et δ. Et, si l'on fait $\delta = 0$, on retombe sur les équations générales du quadripôle passif, parce que le déterminant des équations en V_1, I_1 est égal à $+1$. Il nous reste alors les trois constantes Z_0, Z_1 et g. Si maintenant nous faisons, en outre, Z_0 égal à Z_1, ce qui correspond à un quadripôle symétrique, nous retombons sur les équations de la ligne homogène, d'impédance Z_1 et de constante de propagation $\frac{g}{l}$. Dans ce dernier cas, les constantes ont une signification évidente; nous avons l'impédance caractéristique et l'affaiblissement pour la section considérée. Si l'on revient au cas où Z_0 et Z_1 sont distincts, on a l'assimilation avec un système dyssymétrique, qui serait formé de deux lignes homogènes, l'une d'impédance caractéristique Z_0, l'autre d'impédance caractéristique Z_1, réunies l'une à l'autre par un transformateur idéal, dans lequel les courants sont multipliés par $\sqrt{\frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_1}}}$ et les tensions, par $\sqrt{\frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_0}}}$. Les impédances Z_0 et Z_1 sont très aisément accessibles à l'expérience et on les appelle les impédances « images » du quadripôle dyssymétrique. Cette digression apparente n'est pas inutile, parce que le C. C. I. fait état de cette notion dans ses instructions.

Si, dans le cas d'un quadripôle passif ($\delta = 0$), nous résolvons les équations, nous obtenons

$$V_1 = V_0 \sqrt{\frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_0}}} \cosh g - I_1 \sqrt{\overline{Z_0 Z_1}} \sinh g,$$

$$I_1 = I_0 \sqrt{\frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_1}}} \cosh g - \frac{V_0}{\sqrt{\overline{Z_0 Z_1}}} \sinh g.$$

Considérons alors le système primitif et le système résolu; en les regardant successivement, on constate ce résultat important, à savoir que si l'on boucle le quadripôle sur l'impédance Z_1, on mesure une impédance Z_0 à l'entrée; et réciproquement, d'après les équations résolues, on voit que si l'on boucle les impédances d'entrée sur l'impédance Z_0, on mesure l'impédance Z_1 aux bornes de sortie; d'où le nom d'impédances images, qui rappelle cette réciprocité.

L'intérêt, au point de vue physique, des impédances images, c'est que lorsque l'on boucle les bornes de sortie sur l'impédance Z_1, l'on n'a pas de référence à ces bornes; si l'on opère une transmission en sens contraire, on n'aura pas de réflexion aux bornes d'entrée, lorsque celles-ci seront bouclées sur l'impédance Z_0. Cette propriété est évidente, une fois qu'on a reconnu l'assimilation du quadripôle dyssymétrique à un système de deux lignes homogènes reliées par un transformateur idéal.

VIII. **Définitions spéciales.** — 1. L'*équivalent* de transmission est le nombre d'unités de transmission indiqué par le système de référence, lorsque ce système de référence est réglé pour donner le même volume de son à la sortie du récepteur que le système considéré, la puissance acoustique à l'extrémité transmettrice étant la même dans les deux cas. Ceci veut dire qu'on opère par substitution.

2. Les *pertes* ou *gains* de transmission d'une partie d'un système sont la différence entre l'équivalent a de ce système après insertion de la partie considérée et l'équivalent b avant cette insertion.

3. Le *niveau* de transmission de la tension (s'il s'agit de tension par exemple), en un point d'un système est déterminé par le rapport de la valeur de la tension en ce point, à une tension particulière dont on aura choisi la valeur comme zéro de référence.

4. La *diaphonie* est plus délicate à définir. Prenons un exemple. Considérons deux circuits parallèles voisins AB, A'B' (fig. 2) d'une part, CD, C'D' d'autre part. On parle sur l'un (AB sont ses bornes d'entrée); on écoute sur l'autre (CD sont ses bornes de sortie). Si l'on entend, c'est à cause de la diaphonie. Il y a mélange de conversations.

Le premier circuit est le circuit perturbateur, le second est le circuit perturbé. Admettons qu'en raison de la longueur des lignes, ce qui se passe à l'extrémité gauche soit sensiblement indépendant de ce qui se passe aux extrémités de droite; celles-ci pourront être bouclées sur des impédances quelconques; mais l'ensemble des deux circuits constitue un quadripôle dyssymétrique dont les impédances images sont mesurables et peuvent être appelées Z_1 et Z_2. Elles ne différeront pas sensiblement des impédances caractéristiques en AB et en CD respectivement. Soit alors z l'impédance du récepteur.

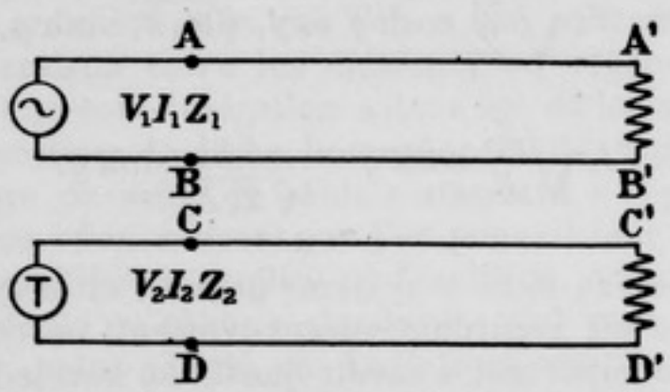


Fig. 2. — Schéma de deux circuits parallèles entre lesquels on veut mesurer la diaphonie.

Les équations du quadripôle peuvent se simplifier ici, parce que l'on a $\delta = 0$ (quadripôle passif) et que g est assez grand (circuits bien équilibrés) pour qu'on puisse écrire avec une bonne approximation

$$\cosh g = \sinh g = \frac{e^g}{2}.$$

Elles se ramènent alors au système ci-après

$$V_0 = \left(V_1 \sqrt{\frac{Z_0}{Z_1}} + I_1 \sqrt{Z_0 Z_1} \right) \frac{e^g}{2},$$

$$I_0 = \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0 Z_1}} + I_1 \sqrt{\frac{Z_1}{Z_0}} \right) \frac{e^g}{2},$$

$$V_1 = z I_1.$$

Eliminons V_1 et I_0 entre ces trois équations et appelons b la partie réelle de g, il vient

$$b = \log_e \left| \frac{2 V_0}{I_1} \sqrt{\frac{Z_1}{Z_0}} \frac{1}{z + Z_1} \right|.$$

Puis posons

$$n = 10^6 \times e^{-b};$$

le nombre n sera le *nombre d'unités de diaphonie*, mesurant l'influence perturbatrice du premier circuit sur le second. C'est ce qu'on appelle la diaphonie « à l'émission », parce que l'on écoute du même côté des lignes que l'on y parle, ici à la station de gauche, pour chacune des deux lignes. C'est à l'excellent ouvrage « Cours de lignes souterraines à grande distance », de M. Prache, ingénieur des Télégraphes, que nous venons d'emprunter ce qui a trait à la diaphonie. Ajoutons que le terme de diaphonie a été créé par J. Carpentier, après avis des linguistes et que c'est à Carvallo qu'est due la définition précise de cette grandeur.

5. L'*affaiblissement* du système caractérise la décroissance d'une certaine grandeur (courant, tension, puissance) au cours de son « transfert » (comme disent les Américains), du point d'application au point d'utilisation. L'affaiblissement *image* se rapporte à un quadripôle terminé par ses impédances images et il est déterminé par le rapport des puissances apparentes aux deux extrémités. Dans le cas d'une ligne homogène, on a

$$\log_e \left| \frac{V_1}{V_0} \right| = \log_e \left| \frac{I_1}{I_0} \right| = \frac{1}{2} \log_e \frac{W_1}{W_0},$$

W_1 et W_0 étant les puissances apparentes. L'affaiblissement *spécifique* d'une ligne homogène est le quotient de l'affaiblissement total (entre les extrémités de cette ligne) par la longueur de la ligne. L'affaiblissement *effectif* d'un élément fermé sur les impédances Z_0, Z_1 est déterminé par le rapport de la puissance apparente qu'un générateur d'impédance Z_0 fournit à un récepteur d'impédance Z_0 à la puissance apparente que le même générateur fournit par l'intermédiaire du même élément à un récepteur d'impédance Z_1. Si la valeur déterminée par ce rapport est négative, on l'appelle « amplification effective » (cas du relais amplificateur).

IX. **Conclusion**. — Pour le surplus, nous ne pouvons que renvoyer au texte même du compte rendu officiel du Comité consultatif international des Communications téléphoniques à grande Distance, 23, avenue de Messine, à Paris. Comme on le voit, le néper et le décibel ont le privilège de s'appliquer à la mesure de toute espèce de grandeurs physiques, qui n'ont en commun que la particularité de n'avoir pas de formule de dimension. Le C. C. I. désire tout au moins qu'ils caractérisent quelque propriété précise et significative dans chaque cas particulier.

J.-B. POMEY.

Note complémentaire relative à l'évaluation de la charge maximum d'un réseau électrique

I. **Introduction.** — Dans le numéro du 25 janvier dernier de cette revue, j'ai publié un article sur cette question de calcul du facteur de simultanéité, ainsi qu'un nomogramme facilitant ce calcul. Je crois utile de préciser le mode d'emploi dudit nomogramme et, à cette occasion, d'attirer l'attention du lecteur sur une modification des échelles des nombres de charges, m; afin d'éviter tout malentendu le, nomogramme en question modifié et complété est reproduit ici en figure 1.

Je signale en même temps une erreur qui s'est glissée à la page 128 de l'article précité, 16e ligne. Il faut lire :

$$P_r = P_1 + P_2 + P_m,$$

et non

$$P_m = \ldots$$

Dans cette formule, P_r représente la puissance raccordée, tandis que P_m est la puissance maximum définie par la formule (6), à la même page.

II. **Modification apportée à l'ancien nomogramme.** — Dans le nouveau nomogramme (fig. 1), il a été prévu deux échelles des ordonnées correspondant au nombre de charges m; celle de droite, graduée de 0 à 10, et non pas de 0 à 100, s'applique aux lignes en trait plein établies pour diverses valeurs de u, le symbole u représentant le coefficient de durée de la charge. L'échelle de gauche, de 2 à 40, est relative aux lignes en trait interrompu.

III. **Mode d'emploi.** — On détermine la durée moyenne de la charge $\frac{T_t}{S}$, ou le nombre d'opérations S, et l'on porte la grandeur trouvée en ordonnée, sur le nomogramme inférieur. Connaissant, d'autre part, la durée probable de coïncidence τ, on cherche sur la droite correspondant à cette valeur de τ le point dont l'ordonnée est $\frac{T_t}{S}$ ou S, et l'on mène par ce point une parallèle à l'axe des ordonnées jusqu'à son intersection avec la droite correspondant à la valeur u également connue du coefficient de la durée de charge, sur le nomogramme supérieur.

L'ordonnée de ce point donne la valeur de m cherchée.

S. Prockoroff.

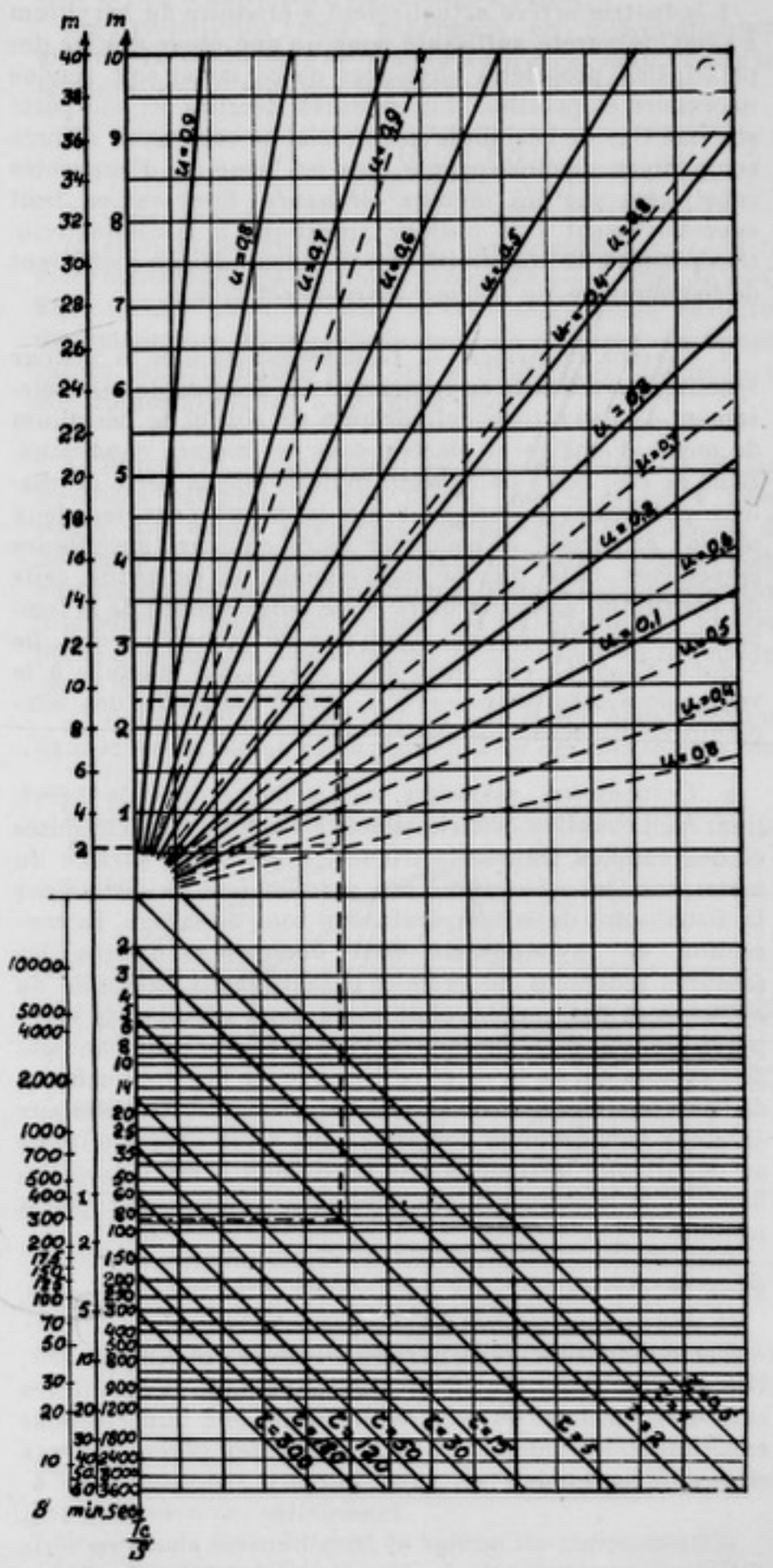


Fig. 1. — Nomogrammes permettant de calculer le facteur de simultanéité : m, nombre de charges; T_t, durée de la période de travail, en secondes; S, nombre d'opérations; u, coefficient de la durée de charge. L'échelle de droite des ordonnées m se rapporte aux droites en trait plein; celle de gauche aux droites en trait interrompu.

(1) S. Prockoroff; Evaluation de la charge maximum d'un réseau électrique. *Revue générale de l'Electricité*, 25 janvier 1930, t. XXVII, p. 126-128.

Revues, analyses et informations

Quelques propriétés thermiques et électriques du béryllium (1).

L'industrie arrive actuellement à produire du béryllium à l'état de pureté suffisante pour qu'une étude précise des principales propriétés physiques de ce métal soit rendue nécessaire et possible. Les mesures décrites ici ont porté sur une tige de béryllium commercial ne contenant, d'après son analyse spectroscopique, que 0,5 pour 100 d'impuretés constituées par des métaux étrangers. Elles ont eu trait successivement à la chaleur spécifique, à la conductivité thermique, à la résistivité et à la valeur de son coefficient de température, au pouvoir thermoélectrique.

1. Chaleur spécifique. — La détermination de la chaleur spécifique a été faite en comparant les courbes de refroidissement de deux tiges cylindriques de zinc et de béryllium de même diamètre et placées dans les mêmes conditions. Dans ce cas, la loi de Newton indique que la perte de chaleur par unité de longueur est la même pour les deux métaux et permet de comparer leurs chaleurs spécifiques respectives. Celle du zinc étant connue, on en déduit celle du béryllium. Cette dernière a été ainsi étudiée de la température de l'air liquide jusqu'aux environs de 200° C. De —65° C à 190° C, elle varie de 0,270 à 0,593 et tombe à la valeur de 0,0389 pour —175°,6, limite inférieure des températures utilisées.

2. Conductivité thermique. — La même tige de béryllium était chauffée électriquement à l'une de ses extrémités et des couples thermoélectriques, placés à la surface du métal, tous les 2,5 centimètres, permettaient de déterminer la distribution de la température le long de la tige. La correction de rayonnement était déterminée d'après les mesures indiquées au premier paragraphe. L'ensemble du cylindre et des couples était placé dans un tube de verre pyrex plongé lui-même dans un vase de Dewar contenant soit de l'air liquide, de la neige carbonique, de la glace fondante, de l'eau bouillante ou de l'air chaud. Des mesures faites aux diverses températures correspondant à ces divers milieux on déduit que la conductivité thermique k est donnée en fonction de la température t, en degrés centésimaux, par la formule

$$k = 0{,}3847 + 0{,}000751\,t - 0{,}000000468\,t^2 - 0{,}00000000027\,t^3.$$

L'erreur dans les mesures variait entre 5,9 et 2,8 pour 100 : elle est minimum à 0° C et maximum aux températures extrêmes. Ceci est dû en grande partie aux imperfections expérimentales inhérentes à l'emploi des divers milieux cités plus haut.

3. Résistivité. — Une tige de béryllium est placée en série avec une résistance étalonnée. Un courant traverse l'ensemble et par une méthode d'opposition on mesure la chute de potentiel successivement aux bornes de la résistance et entre deux points à distance connue sur la tige de béryllium. Le rapport des résistances est ainsi déterminé. Les mesures furent exécutées de la température de l'air liquide aux environs de 700° C. Il se trouve qu'à une même température, la résistivité du béryllium peut prendre diverses valeurs. Cette anomalie est due à l'influence du traitement thermique sur les propriétés du métal. On remarque, en effet, que la particularité précédente disparaît sur une tige de béryllium portée en vingt-quatre heures à 700° C, maintenue douze heures à cette température et refroidie lentement. La valeur de la résistivité varie de $1{,}56 \times 10^{-6}$ ohm-cm à 40×10^{-6} ohm-cm entre —191°C et 690° C.

4. Coefficient de température. — En divisant le rapport $\frac{d\rho}{dT}$ (ρ étant la résistivité à T degrés) par ρ_0, résistivité à 273° K, on calcule le coefficient de température. La courbe de la figure 1, qui montre sa variation en fonction de la température, présente deux coudes en sens inverse aux environs

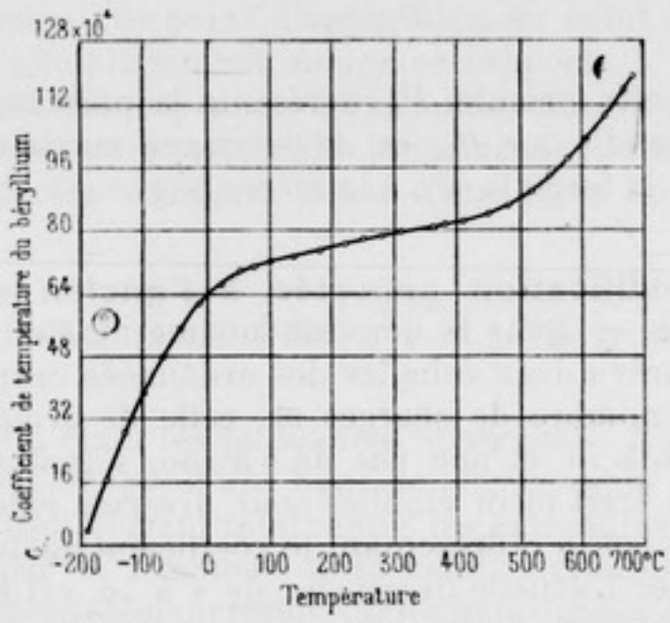


Fig. 1. — Courbe représentant la variation du coefficient de température du béryllium en fonction de la température.

de 50° C et de 400° C. On suppose que cette anomalie est due à une transformation allotropique du métal prenant naissance à ces températures. Cette hypothèse est confirmée par l'étude du pouvoir thermoélectrique tout au moins aux environs de 50° C, la détermination de cette dernière grandeur n'ayant pas été faite au delà de 200° C.

5. Pouvoir thermoélectrique. — Le pouvoir thermoélectrique du béryllium a été déterminé au moyen du couple béryllium et plomb. Les courbes qui le représentent (fig. 2) en fonction de la température sont formées de deux lignes à peu près parallèles raccordées entre —50° C et +20° C par une ligne de grande courbure, et ceci semble vérifier l'hypothèse d'une modification interne émise au cours de l'étude du coefficient de température.

6. Loi de Wiedemann. — La loi de Wiedemann-Frantz-Lorentz s'exprime par la relation

$$\frac{k}{\sigma T} = \text{constante} = 24{,}7 \times 10^7$$

entre la conductivité calorifique k, en ergs par centimètre et

(1) Evan-Jarrett Lewis. *The physical Review*, 15 décembre 1929, t. XXXIV (2e série), p. 1 575-1 587, 2 400 mots, 16 figures et 5 tableaux.

centimètre carré et par degré centésimal, la conductivité électrique σ, en mhos par centimètre et la température absolue T en degrés centésimaux. Elle n'est pas vérifiée pour le

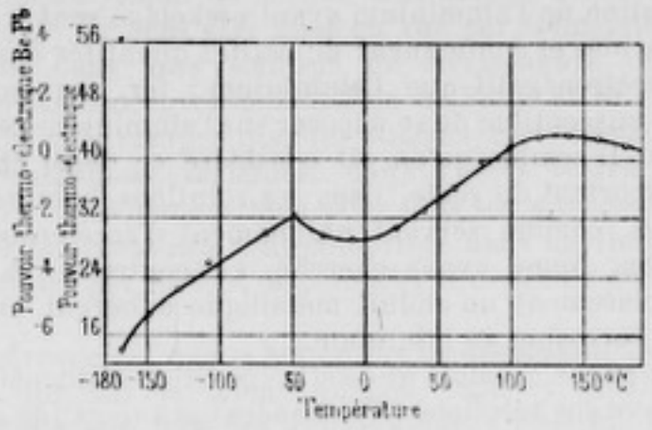


Fig. 2. — Courbe représentant la variation du pouvoir thermoélectrique du béryllium, en microvolts par degré centésimal, en fonction de la température.

béryllium, car il faudrait pour cela que la conductivité k fût, à l'encontre de ce qu'elle est, une fonction décroissante de la température. — A. A.

Résistivité et coefficient de température du plomb, de l'étain, du zinc et du bismuth à l'état solide et à l'état liquide (1).

1. Introduction. — L'étude de la résistivité et du coefficient de température d'un métal à l'état solide et à l'état liquide se heurte généralement à des difficultés expérimentales sérieuses du fait même de changement d'état des métaux étudiés. Une méthode très ingénieuse a été utilisée par les auteurs du présent travail et consiste à se servir, comme support du métal à l'état liquide, de la couche d'oxyde formée à sa surface. Sous les deux états, le métal peut ainsi être étudié au moyen du même appareil d'une façon absolument continue.

2. Dispositif expérimental. — Deux blocs cubiques de laiton sont enchâssés dans une plaque de porcelaine de telle sorte que leurs faces supérieures soient au niveau de la surface de la plaque. Le fil du métal à étudier est soudé à ces blocs par ses extrémités et repose ainsi sur la plaque de porcelaine. Des conducteurs appropriés, soudés à ces blocs, permettent, les uns, de faire passer un courant dans le fil, les autres, de mesurer la différence de potentiel entre ses extrémités. L'ensemble est placé dans un récipient cylindrique en laiton rempli d'azote. Un four électrique extérieur permet de maintenir tout l'appareil à une température fixe, mesurée par un couple thermoélectrique.

3. Conditions de réalisation des expériences. — Les mesures ont porté sur des fils de plomb, d'étain, de zinc et de bismuth purs. Ces fils, préalablement chauffés électriquement au contact de l'air pour renforcer la pellicule d'oxyde superficielle, étaient ensuite disposés pour la mesure.

L'expérience montre que la gaine d'oxyde n'intervient dans ces expériences que comme une simple enveloppe élastique permettant au métal de changer de volume sous l'action de la température et au moment du changement d'état. Il importera d'ailleurs de faire, au sujet de cette variation de volume, les corrections nécessaires. La résistance propre des oxydes, qui est d'environ 10^{10} fois plus grande que celle du métal, n'a pas à être prise en considération. Toutes les mesures ont été faites avec une température croissante, tous les échantillons présentant un phénomène marqué de surfusion, qui altère évidemment la forme des courbes tracées et est, d'autre part, impossible à éviter.

Les résistivités sont exprimées en microhms-centimètres. Le coefficient de température a est défini entre les températures t_1 et t_2 par la relation

$$a_{t_1}^{t_2} = \frac{2(R_2 - R_1)}{(R_2 + R_1)(t_2 - t_1)},$$

R_1 et R_2 étant les résistivités aux températures t_1 et t_2. Dans les expériences décrites, l'intervalle $t_1 - t_2$ était de 20°C. Elles furent conduites entre 20°C et 460°C, cette variation de température étant réalisée en 6 ou 9 heures. La température fut déterminée à 0°,01C et la précision des mesures électriques atteignait 0,001 pour 100.

4. Résultats. — 1° *Plomb.* — La courbe (fig. 1) des résistivités est presque une droite pour le plomb à l'état solide. Elle monte à peu près verticalement au moment de la fusion — la température étant constante — et devient ensuite rigoureusement rectiligne. Il n'y a aucune variation de courbure qui puisse déceler une transformation allotropique quelconque. Les nombres trouvés sont en bon accord avec les résultats déjà connus.

2° *Etain.* — La courbe (fig. 1) a la même apparence que dans le cas du plomb et on peut en tirer des conclusions tout

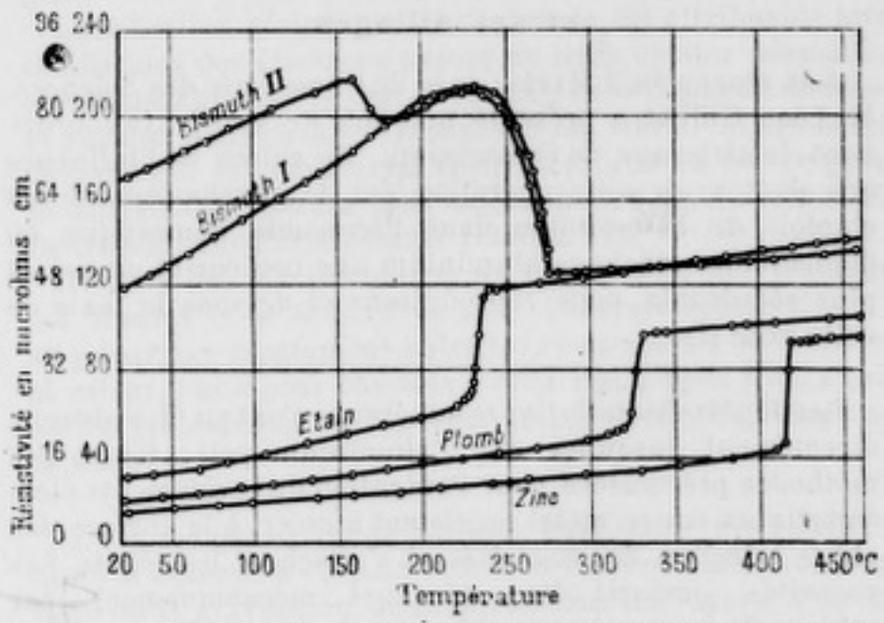


Fig. 1. — Courbes des variations de la résistivité du plomb, de l'étain, du zinc et du bismuth, en fonction de la température.

à fait identiques. L'accord avec les valeurs déjà trouvées est généralement satisfaisant.

3° *Zinc.* — Pour le zinc, la courbe de résistivité (fig. 1) à l'état liquide doit être aussi une droite bien que sa faible longueur, due à la température relativement élevée de fusion du métal, ne permette pas de l'affirmer absolument. A l'état solide, la courbe est à peu près rectiligne, mais la valeur du coefficient de température présente deux minima entre 180°C et 200°C, d'une part, et 320°C et 360°C, d'autre part. Il semble qu'il y ait là indication d'une transformation allotropique et ce point de vue est confirmé par divers tra-

(1) W.-B. Pietenpol et H.-A. Miley. *The physical Review*, 15 décembre 1929, t. xxxiv (2e série), p. 1588-1600, 4 000 mots, 4 figures et 4 tableaux.

vaux portant sur des propriétés physiques tant électriques que mécaniques.

4° *Bismuth I.* — Le fil de bismuth utilisé ici était fait de métal recuit dont l'analyse microscopique montre la parfaite incohérence au point de vue de l'orientation des cristaux. La résistivité décroît au moment de la fusion, contrairement à ce qui se passe pour les métaux précédents. A cela près, la courbe de résistivité n'offre aucune particularité.

5° *Bismuth II.* — Les mesures faites sur un fil de bismuth non recuit montrent, tout d'abord, une résistance plus grande que celle de l'échantillon précédent. Ceci peut s'expliquer par une différence d'arrangement cristallographique. Le fil non recuit, étudié au microscope, montre que l'axe ternaire des cristaux de bismuth est, au centre, généralement parallèle à l'axe du fil et l'on sait que la résistivité est plus grande dans le sens de l'axe ternaire que dans toute autre direction. De plus, des fissures ou des déformations peuvent avoir altéré la disposition des cristaux au cours des expériences, et du bismuth amorphe de haute résistivité a pu prendre naissance à l'intérieur de ces fissures.

En deuxième lieu, la courbe montre qu'entre 160°C et 180°C, se place une transformation du métal. En effet, au delà de 180°C et à l'état liquide les courbes relatives aux deux échantillons se confondent pratiquement. Ce fait serait difficile à expliquer en dehors de l'hypothèse d'une transformation allotropique. Cette transformation n'a toutefois d'influence que dans le cas d'un refroidissement rapide. Elle n'apparaît pas, en effet, dans l'échantillon I recuit avec soin et par suite refroidi très lentement. Le bismuth passe de la forme rhomboédrique à la forme cubique. — A. A.

Les dépôts électrolytiques sur l'aluminium et ses alliages.

A la séance du 3 février 1930 de l'Académie des Sciences, M. Léon Guillet a présenté une note de M. Ballay concernant le nickelage de l'aluminium. En raison de l'influence que peut avoir cette opération sur le développement des emplois de l'aluminium dans l'économie domestique en donnant aux objets en aluminium une couleur et un aspect plus séduisants, nous reproduisons ci-dessous le texte de cette note (1).

Des dépôts électrolytiques adhérents n'ont pu être obtenus directement jusqu'ici sur l'aluminium poli; toutes les méthodes préconisées pour l'obtention de revêtements électrolytiques sur ce métal consistent à créer, à la surface des objets à traiter, des rugosités où s'attachent les dépôts. Les rugosités peuvent être obtenues mécaniquement par sablage (2) ou par attaque chimique (3). Le dépolissage mécanique au jet de sable s'applique à tous les alliages d'aluminium et donne une bonne adhérence; mais il a l'inconvénient de rendre très difficile le polissage ultérieur. La méthode chimique exigeait jusqu'ici l'emploi de réactifs différant suivant la nature de l'alliage. En fait, la réalisation des dépôts électrolytiques sur l'aluminium est peu courante et considérée comme difficile, malgré son grand intérêt pratique.

Nous avons cherché une méthode générale pour le nickelage des alliages d'aluminium et de l'aluminium pur, un dépôt adhérent préalable de nickel permettant évidemment de déposer électrolytiquement du cuivre, du cadmium, de l'argent, de l'or, etc.

La plupart des solutions corrodantes proposées pour la préparation de l'aluminium avant nickelage sont très fortement acides et contiennent de petites quantités d'un métal plus électronégatif que l'aluminium : fer, manganèse ou nickel, susceptible de se déposer sur l'aluminium par déplacement. Il semble qu'on ait considéré ce dépôt chimique, peu important du reste, dans les solutions habituellement utilisées, comme servant uniquement d'accélérateur à la corrosion. Nous avons cherché, au contraire, à obtenir par déplacement un enduit métallique adhérent, en réduisant la corrosion au minimum.

Nous avons constaté que cette condition s'obtenait facilement avec des solutions très chaudes (90 à 100°C) de chlorure ferrique légèrement acidulées par de l'acide chlorhydrique, alors que les mêmes solutions froides attaquent l'aluminium de la même manière que l'acide chlorhydrique. La température joue un rôle très important; ces solutions jaunes à froid sont rouges à chaud et le dépôt chimique de fer ne s'effectue convenablement que dans les solutions de couleur rougeâtre. Nous avons donc entrepris une étude systématique des conditions de formation d'un dépôt adhérent de fer dans ces solutions; nous avons étudié plus de 50 solutions de concentrations diverses en chlorure ferrique et en acide chlorhydrique à la température ordinaire et à l'ébullition. Nous avons opéré sur des plaquettes ayant les compositions ci-après :

Aluminium extra pur (teneur en aluminium de 99,85 pour 100);

Aluminium commercial (teneur en aluminium de 98,5) écroui et recuit;

Alpax (teneur en silicium de 13 pour 100 environ), laminé, coulé en coquille ou en sable;

Duralumin, brut de coulée ou traité (teneur en cuivre 4 pour 100; en magnésium 0,6 pour 100; en silicium 0,5 pour 100);

Alliage à 8 pour 100 de cuivre coulé en coquille ou en sable;

Alliage d'aluminium à 85 pour 100 et de zinc à 15 pour 100, coulé en coquille;

Almasilium (teneur en sicilium 15 pour 100 et en magnésium 1 pour 100).

Les plaquettes ont été nickelées et l'adhérence, appréciée par emboutissage et pliage jusqu'à rupture. Nous résumerons succinctement les résultats obtenus, en exprimant les concentrations des solutions de chlorure ferrique en grammes de fer et les concentrations d'acide chlorhydrique en nombre de molécules de HCl par litre.

A froid, des dépôts d'une adhérence remarquable peuvent être obtenus dans des solutions riches en fer, contenant, par exemple, 25 à 30 g de fer et 6,5 à 9 molécules de HCl par litre, mais la corrosion est trop forte pour qu'ils soient pratiquement intéressants lorsque les pièces doivent être ultérieurement polies.

Les solutions de chlorure ferrique, non acidifiées, qui se troublent à chaud par hydrolyse ne peuvent être utilisées. L'acide tartrique empêche l'hydrolyse et les solutions ainsi constituées donnent sur l'aluminium un dépôt de fer adhérent. Les solutions alcalines (en présence d'acide tartrique) donnent un dépôt de fer non adhérent.

C'est dans les solutions acides (chlorhydriques) de chlorure ferrique bouillantes ou au voisinage de l'ébullition que les résultats sont le plus intéressants. Nos recherches ont porté sur des solutions contenant, par litre, 1,7 g à

(1) Marcel Ballay. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 3 février 1930, t. cxc, p 305-308.

(2) L. Guillet et M. Gasnier *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 1920, t. clxx, p. 1253.

(3) Tassilly. *Revue de Métallurgie*, 1914, t. xi, p. 670.

43 g de fer et de 0 à 1,7 molécule de HCl. Pour des concentrations convenables en ces deux corps, on obtient sur l'aluminium et ses alliages un enduit de fer qui donne au dépôt électrolytique de nickel une grande adhérence. La présence de fer peut être mise en vue par immersion de la plaquette dans une solution de ferricyanure chloruré. Quoique les concentrations optima en $FeCl^3$ et HCl varient un peu avec la composition des alliages, certaines solutions de concentrations variables, dans d'assez larges limites d'ailleurs, conviennent bien pour tous les alliages étudiés. Les plus intéressantes sont comprises dans les limites : de à 22 g de fer par litre et de 0,10 à 0,70 molécule de HCl par litre.

L'adhérence est moins bonne sur le duralumin trempé et revenu que sur le même alliage coulé et recuit et en général que sur tous les autres alliages étudiés. Tous les bains de nickelage peuvent être employés pour le nickelage de l'aluminium suivant cette méthode et nous avons vérifié qu'il était inutile d'employer des bains contenant des doses élevées de sulfate de sodium ou de magnésium comme on l'a recommandé quelquefois, le nickel n'étant pas déplacé des solutions de nickelage courantes par l'aluminium. Les bains de nickelage fonctionnant à chaud, à forte densité de courant, permettent l'obtention rapide de dépôts adhérents.

Les dépôts de nickel ainsi obtenus se chroment et se cuivrent aisément en bain de sulfate de cuivre acide.

Ces recherches ont permis la mise au point d'une méthode industrielle de nickelage de l'aluminium et de ses alliages; l'application est très simple et d'une grande souplesse.

Théorie ondulatoire et rayonnement noir.

A la séance du 24 février 1930 de l'Académie des Sciences, a été présentée sous ce titre une note de M. L. Décombe (1), dont le texte est reproduit ci-après.

1. Une formule connue permet d'évaluer le nombre de vibrations propres d'une enceinte dont les fréquences sont comprises entre ν et $\nu + d\nu$. Tout le problème du rayonnement noir consiste à évaluer l'énergie $\mathcal{E}(\nu, T)$ attribuable, à T degrés, à chacune de ces fréquences.

Le rayonnement étant supposé de nature électromagnétique, $\mathcal{E}(\nu, T)$ se compose de deux parties égales : l'énergie électrique (E) assimilable à une énergie potentielle et l'énergie magnétique (M) assimilable à une énergie cinétique, de sorte que l'on a

$$2E = 2M = \mathcal{E}(\nu, T).$$

La quantité de chaleur qu'il faut fournir au système pour accroitre de $d\nu$ sa fréquence et de dM son énergie cinétique est donnée par la formule de Boltzmann

$$dQ = 2\nu d\left(\frac{M}{\nu}\right) = \nu d\left[\frac{\mathcal{E}(\nu, T)}{\nu}\right], \qquad (1)$$

et le second principe de la thermodynamique exige que l'on ait

$$\frac{\mathcal{E}(\nu, T)}{\nu} = F\left(\frac{\nu}{T}\right). \qquad (2)$$

Ceci posé, imaginons que la vibration électromagnétique considérée soit développable en série de Fourier. On aura, d'après une propriété connue

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \ldots, \qquad (3)$$

$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \ldots$ désignant les énergies individuelles des composantes sinusoïdales de fréquences $\nu, 2\nu, 3\nu \ldots$, ce qui conduit à mettre la relation (2) sous la forme

$$\frac{\mathcal{E}(\nu, T)}{\nu} = F\left(\frac{\nu}{T}\right) = F_1\left(\frac{\nu}{T}\right) + F_2\left(\frac{2\nu}{T}\right) + F_3\left(\frac{3\nu}{T}\right) + \ldots, \qquad (4)$$

les fonctions successives $F_1, F_2, F_3, \ldots$ se rapportant aux vibrations composantes de Fourier. La série (4) doit être convergente.

Dans le cas particulier où les termes successifs $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ des développements (3) et (4) décroissent géométriquement, on a

$$\mathcal{E}_p = h\nu e^{-\alpha\frac{p\nu}{T}} \qquad (5)$$

h et α désignant des constantes positives. Substituant dans (4) et posant $k = \frac{h}{\alpha}$, on obtient immédiatement la formule de Planck

$$\mathcal{E}(\nu, T) = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \qquad (6)$$

sans avoir eu à postuler aucune discontinuité pour l'énergie.

La vibration périodique ici envisagée est attribuable aux oscillations des électrons autour de leurs orbites normales, oscillations provoquées par l'agitation calorifique des atomes et réglées, quant à la fréquence, par les vibrations des tubes de force qui relient chaque électron orbital au centre positif attirant. On voudra bien me permettre de revenir ultérieurement sur l'intéressante relation (5).

Aujourd'hui je remarquerai seulement que, dans les deux cas limites ($\nu \to 0$ et $T \to \infty$), l'énergie totale $\mathcal{E}(\nu, T)$ s'équipartage exactement entre les composantes de Fourier, la valeur limite pour chacune d'elles étant égale à $h\nu$, c'est-à-dire précisément à l'énergie trajectorielle de l'électron orbital.

2. On me permettra de résumer l'ensemble des résultats que j'ai obtenus à ce jour touchant l'interprétation ondulatoire de la gravitation, de la production des rayons X et des séries spectrales, de la structure fine, de l'effet photoélectrique et du spectre de fluorescence des rayons X, de l'effet Compton, des orbites privilégiées de Bohr-Sommerfeld, du phénomène de Zeeman, de l'effet Stark et enfin du rayonnement noir.

J'ai cherché à obtenir de ces divers phénomènes une interprétation purement ondulatoire ne faisant intervenir aucune des discontinuités dont fait usage la théorie dite des quanta.

A cet effet j'ai assimilé le proton et l'électron à des particules sphériques pulsantes dont j'ai établi la propriété fondamentale d'avoir une fréquence pulsatoire proportionnelle à l'énergie électrostatique et, par conséquent, à la masse. Cette fréquence est modifiée par le mouvement de la particule (libre ou engagée dans un champ de forces). J'ai mis

(1) L. Décombe. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 24 février 1930, t. cxc, p. 479-481.

d'autre part en évidence le rôle des tubes de force aboutissant à une particule électrisée pulsante. Les vibrations de ces tubes (dont j'ai explicité la fréquence) et les pulsations de la particule à laquelle ils aboutissent se conditionnent mutuellement d'une façon très étroite et l'on peut exprimer les divers phénomènes ci dessus rappelés en termes pulsatoires relatifs à la particule électrisée ou vibratoires relatifs aux tubes de force qui y aboutissent, sans avoir à postuler l'existence d'aucun quantum de rayonnement ni d'aucune discontinuité pour l'énergie.

Rapport sur les travaux de recherches exécutés à la Fondation Bartol de 1928 à 1929 (1).

Le rapport comprend les résumés de onze mémoires relatifs à des recherches de laboratoires et de cinq mémoires concernant des travaux théoriques. On trouvera ci dessous le résumé de quelques-uns d'entre eux et, en note, les titres des autres (2).

1° *Recherches sur l'arc électrique.* Nottingham (p. 191-199, 2 fig.) — Cet auteur s'est occupé de la mesure de la vitesse des électrons dans l'arc; il a également étudié les variations du potentiel le long de l'arc. On constate, au voisinage de la cathode et de l'anode, une chute brusque de tension qui est intimement liée à la tension d'ionisation qui représente l'intensité du champ nécessaire pour qu'un électron acquiert toute l'énergie qu'il lui faut pour l'arrachement d'un autre électron de l'atome ; pour l'arc au cuivre, le docteur Nottingham a trouvé 20 v pour la chute cathodique et l'on voit que la tension d'ionisation double de la vapeur de cuivre est de 20,5 v (c'est-à-dire la tension nécessaire à la séparation d'un deuxième électron d'un atome qui en a déjà perdu un). La concordance est également bonne pour les arcs au cadmium, au thallium et au carbone. Les chutes anodiques sont: 10 v pour le cuivre; 1 v pour le cadmium et 16,5 v pour le carbone; enfin, les températures moyennes, en degrés centésimaux, des électrons correspondant à ces différents arcs sont: 19 000°C pour le cuivre, 6 000°C pour le cadmium et 8 000°C pour le thallium. L'auteur cherche à expliquer l'origine de la température apparente de ces électrons. L'allure de l'arc au carbone est bien différente de celle des arcs métalliques : la température n'est pas constante tout le long de l'arc et la tension ne croît pas uniformément d'une électrode à l'autre.

2° *Production de rayons X par des protons.* Barton (p. 217-222, 1 fig.). — Est-il possible de produire des rayons X non plus par l'impact d'électrons, mais par l'impact d'atomes chargés positivement tels que les protons? Le docteur Barton qui s'est attaqué à cette question a trouvé que les protons sont 100 000 fois moins efficaces que les électrons de même énergie : le rendement en rayons X décroît donc plus vite qu'en raison inverse de la masse ou même du carré de la masse du corpuscule incident.

3° *Pertes d'énergie des électrons qui ont traversé des feuilles minces.* Miss Allen (p. 231-234, 2 fig.). — Cette dernière a publié un mémoire dans lequel elle démontre que les électrons subissent une diminution de vitesse relativement faible par leur passage à travers des pellicules métalliques. Le métal est répandu par ionoplastie sur une lame de cristal; en plaçant celle-ci dans un bain d'eau, la pellicule se détache facilement.

Dans l'appareil utilisé, qui se présente sous forme d'un cylindre semi-circulaire, un faisceau d'électrons engendré par un filament chaud est accéléré au moyen d'un champ électrique. Ce faisceau passe à travers une fente portant les feuilles minces expérimentées et est incurvé suivant l'arc de cercle du tube sous l'effet d'un champ magnétique. Un petit cylindre de Faraday, connecté à l'extrémité du tube, recueille le faisceau. On mesure le courant reçu par ce cylindre pour diverses valeurs du champ magnétique avec et sans feuille et on trace les courbes correspondantes.

4° *Nouvelles expériences sur l'effet photoélectrique de pellicules minces de potassium et de sodium.* Nottingham (p. 235-244, 5 fig.). — Avec un dispositif mille fois plus sensible que tous ceux utilisés jusqu'ici et avec des pellicules dont l'épaisseur est de l'ordre moléculaire, cet auteur a obtenu des résultats intéressants. Tout d'abord, on sait que l'intensité de l'effet photoélectrique correspondant aux différentes régions du spectre est démontrée en traçant une courbe dans un système d'axes de coordonnées ayant pour abscisses les longueurs d'onde et pour ordonnées, les courants photoélectriques ; pour avoir la longueur d'onde limite, c'est-à-dire celle à partir de laquelle l'effet photoélectrique est perceptible, on prolonge la courbe, du côté des grandes longueurs d'onde, jusqu'à sa rencontre avec l'axe des abscisses. Or, étant donné la sensibilité des instruments employés, M. Nottingham a relevé des points bien au delà de la région atteinte par les précédents expérimentateurs, ce qui lui a permis de reculer la limite de la longueur d'onde critique. D'autre part, entre l'énergie $\frac{1}{2}mv^2$ communiquée à un électron par un quantum d'énergie $h\nu$ et la quantité d'énergie w nécessaire pour arracher l'électron de l'atome et du métal, on a la relation $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - w$, c'est-à-dire qu'en portant ν en abscisses et $\frac{1}{2}mv^2$, en ordonnées, on trouve une droite dont le coefficient angulaire est précisément égal à la constante h de Planck; or, en voulant représenter les résultats de ses expériences par un graphique, M. Nottingham a trouvé une ligne brisée formée de trois tronçons rectilignes dont le premier, vers les basses fréquences, avait un coefficient angulaire égal à $3h$, le second, à $2h$ et le troisième, à h. Avec un appareil plus sensible encore, on arriverait probablement à des droites de coefficients $4h$, $5h$ et $6h$ et ainsi de suite. — B. C.

(1) W.-F.-G. Swann. *Journal of the Franklin Institute*, août 1929, t. CCVIII, p. 189-258, mots, 26 figures.

(2) Thomas-H. Johnson; Expériences sur la réflexion des atomes par les cristaux, p. 199-204.

L.-R. Maxwell; L'excitation des atomes par le choc des électrons, p. 204-214.

L.-R. Maxwell; Influence possible des rayons cosmiques sur la radioactivité, p. 214-217.

A. Bramley; Influence d'un champ électrique alternatif sur la lumière transmise à travers de l'eau, p. 222-228.

Longacre; Recherche d'un rayonnement corpusculaire d'origine cosmique, p. 228-231.

A.-C.-G. Mitchell; Polarisation de la lumière produite par l'impact d'atomes de cadmium avec des atomes de mercure excités, p 234-235.

Millikan et Cameron; Expériences relatives à l'absorption des rayons cosmiques par l'air, p. 244-246.

A.-C.-G. Mitchell; Diffusion des électrons par les atomes; p. 247-248.

Miss Allen; Théorie de l'effet Compton produit par des ondes électromagnétiques stationnaires; p. 248-249.

W.-F.-G. Swann; Possibilité de déceler individuellement des rayons cosmiques, p. 249-251.

W.-P.-G. Swann; Relation entre la masse et l'énergie, p. 251.

W.-F.-G. Swann; Ionisation que peut produire un électron qui se déplace avec la vitesse de la lumière, p. 252-256.

SECTION INDUSTRIELLE

Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu (*Suite et fin*) (*)

VIII. **Dispositif Pestarini.** — Les quatre dispositifs doubles, Ward-Léonard, Boucherot et Brunswick, à trois excitations, réalisent des schémas analogues à celui du pont de Wheatstone; on peut appeler encore ces schémas, en tenant compte du côté comprenant la source de l'énergie, des schémas à arêtes de tétraèdre, la source de l'énergie fournissant la tension U et les moteurs de travail traversés par le courant i se trouvant respectivement placés sur deux arêtes opposées (les deux diagonales du losange de Wheatstone).

Dans l'aperçu que nous venons de donner d'une théorie des dispositifs à trois excitations, nous avons dit qu'elle s'appliquait indistinctement tant au dispositif simple qu'au dispositif double. Il n'y a lieu de se préoccuper, en effet, que du courant sortant par la borne m, placée entre les deux machines A et B Ceci confirme une remarque que M. Boucherot a exposée en parlant de systèmes analogues à courants alternatifs, absorbant une tension constante U et débitant un courant constant i.

Le dispositif de M. Pestarini, que nous n'avons pas nommé jusqu'ici, est une autre réalisation, très ingénieuse, du même schéma à six éléments. Dans ce cas, les quatre éléments compris entre les deux diagonales, qui contiennent l'une la source d'énergie à tension constante et l'autre les appareils d'utilisation à courant constant, sont constitués par les quatre quarts d'une armature à enroulement progressif, qu'un petit moteur indépendant fait tourner à la vitesse N (correspondant au courant i comme plus haut) à l'intérieur d'un anneau magnétique, sans pôles saillants, et sans excitations principales, destiné à fermer les circuits magnétiques des flux engendrés dans l'armature elle-même. Celle-ci porte un collecteur sur lequel s'appuient quatre balais (si l'on suppose la machine bipolaire), dont deux balais opposés a et c servent à l'application de la tension U constante et dont deux en croix avec les précédents b et d servent à recueillir le courant constant i (ou à recueillir celle-là et à appliquer celui-ci, s'il s'agit du freinage). Le système fonctionne automatiquement comme ceux du type Boucherot et dérivés.

Dans ce système, les deux bornes l et p coïncident avec le balai a (pôle positif), les deux bornes n et r, avec le balai c (pôle négatif), la borne m, avec le balai b et la borne c, avec le balai d.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 22 mars 1930, t. XXVII, p. 449-459.

Deux quarts opposés de l'armature fonctionnent de la même manière. Occupons-nous des deux quarts ab et bc, prenant comme positive la direction cba. Entre b et a réside la tension U_1, entre c et b la tension U_2, entre c et a la tension U, somme des deux précédentes. Par une fiction commode on peut dire que de a vers c procède la moitié du courant I fourni par la ligne (au démarrage, seule opération que nous considérerons, comme précédemment). De b sort le courant i se rendant aux moteurs et dont, par une fiction analogue, on peut dire qu'une moitié provient de a vers b et l'autre, de c vers b. On a donc

$$I_1 = \frac{(I+i)}{2}, \quad I_2 = \frac{(I-i)}{2}.$$

En considérant les deux quarts ab et dc, avec la diagonale des moteurs on trouverait encore

$$U_1 = \frac{(U-u)}{2}, \quad U_2 = \frac{(U+u)}{2}.$$

En ce qui concerne la production des flux magnétiques, on peut dire, en poursuivant l'application de l'hypothèse adoptée: que les deux moitiés du courant I, allant de a vers c, produisent un flux ayant cette même direction (ou la direction contraire selon le sens de l'enroulement), flux qui se ferme dans le stator et qui induit la tension u; et que les deux moitiés du courant i allant, dans l'armature, de d vers b, produisent un flux ayant cette même direction (ou la direction contraire), flux qui se ferme aussi dans le stator et qui induit la tension U. Ces tensions u et U dépendent de N, ainsi que de I et de i et on a

$$U = hN\mathrm{F}(i), \quad u = hN\mathrm{F}(I).$$

C'est encore une sorte d'excitations croisées.

Si on veut tenir compte du rendement s, on peut écrire

$$sUI = ui;$$

on voit donc que

$$i = \frac{sUI}{hN\mathrm{F}(I)};$$

si l'on fait varier N de manière que

$$N\frac{\mathrm{F}(I)}{sI} = k, \quad k \text{ étant une constante,}$$

on a

$$i = \frac{U}{hk},$$

c'est-à-dire que i est maintenu constant par U qui est constant.

Dans le cas d'une machine peu saturée magnétiquement, $\frac{F(I)}{I}$ est sensiblement constant et N n'a plus à varier que comme s, c'est-à-dire assez peu.

En réalité, les deux flux F (I) et F (i), perpendiculaires l'un à l'autre, se composent en un flux diagonal et les balais a, b, c, d sont tous loin de se trouver sur le plan neutre, de manière qu'une bonne commutation exige que l'anneau extérieur ou stator porte des enroulements auxiliaires divers.

Comme on le voit, dans ce dispositif, les quatre quarts de l'armature remplacent les quatre machines A B C D des groupes doubles précédemment étudiés, le moteur de l'armature remplaçant la régulatrice E. On obtient avec ce dispositif les mêmes valeurs de W'_0, W''_0, S, S', que dans les cas du système Ward-Léonard (non automatique) et du système Brunswick à excitations croisées ou encore de celui de l'auteur à excitations triples (tous automatiques). Mais ces valeurs de S et S' ne peuvent pas être prises comme éléments caractéristiques des dimensions du dispositif, réduit à une seule machine à stator quasi lisse, à la même enseigne que pour des groupes à quatre induits, soit même à deux seuls noyaux d'armature et à deux seuls inducteurs à pôles saillants. Seules les valeurs de W'_0 et W''_0 peuvent être retenues.

C'est pourquoi nous n'avions pas nommé ce dispositif parmi ceux que nous voulons comparer et pourquoi nous ne poursuivrons pas notre discussion sur ses avantages et ses défauts.

IX. **Dispositif S. T. A. R.** — Si on néglige certaines formes primitives à moteur et générateur entrelacés sur une même armature à quatre balais, formes qui doivent avoir procuré plus de déboires que de satisfactions, on peut dire que le dispositif S. T. A. R. (fig. 13) con-

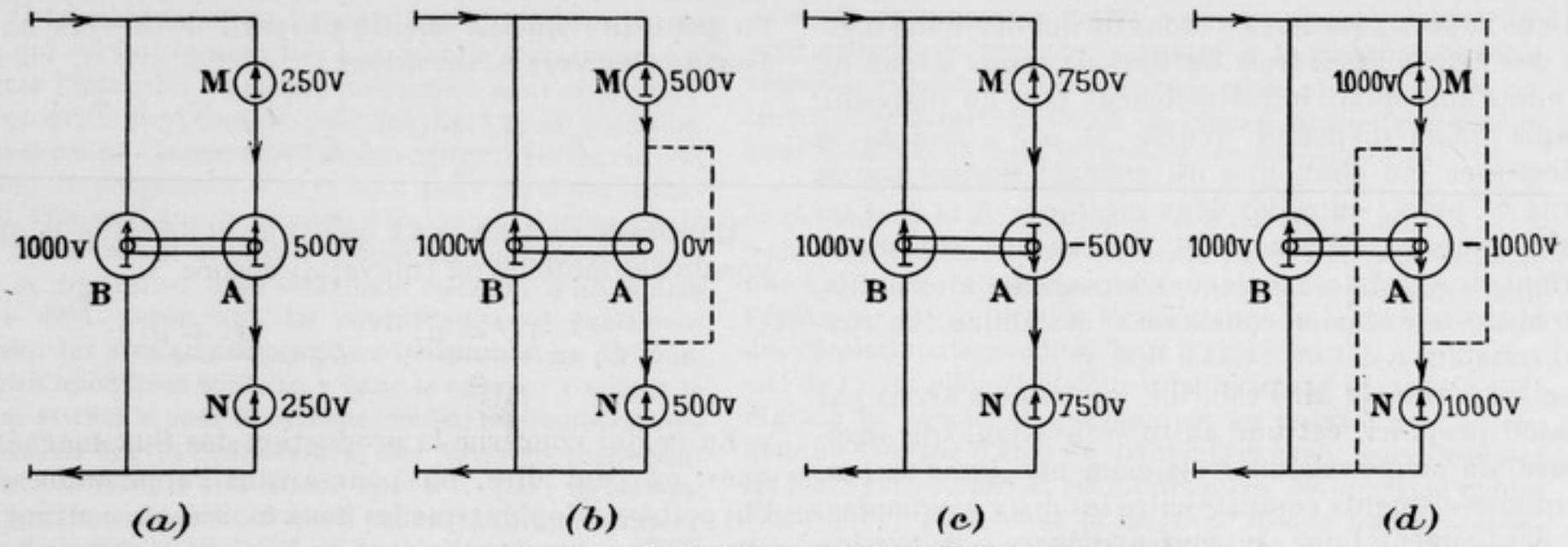


Fig. 13. — Schémas du dispositif S. T. A. R.

siste en un groupe dévolteur-survolteur composé d'une machine B à tension constante, connectée à la ligne, et d'une machine A à tension variable entre + 1 000 v et — 1 000 v, connectée en série avec les moteurs M et N et intercalée avec ceux-ci entre les pôles de la ligne à 1 000 v.

La tension U_1 variant, au démarrage, dans le sens + 1 000, + 500, 0, — 500, — 1 000 v, les moteurs se partagent la tension complémentaire par rapport à 1 000 v et sont soumis à une tension variant comme suit : 0, 250, 500, 750, 1 000 v. Lorsque U_1 est nul et que la tension aux bornes des moteurs est de 500 v pour chacun d'eux, la machine A peut être éventuellement mise en court-circuit et les deux moteurs M et N peuvent continuer à marcher en série sous la tension de la ligne, sans intervention ultérieure du groupe. Lorsque $U_1 = -1\,000$ v et que la tension aux bornes de chacun des moteurs est de 1 000 v, les moteurs peuvent être mis en parallèle sur la ligne au moyen de deux conducteurs mettant en court-circuit, l'un, l'ensemble M + A, l'autre, l'ensemble A + N, chacun de ces ensembles présentant aux bornes terminales une tension nulle. L'opération se fait donc sans danger et sans qu'il y ait à couper le courant des moteurs.

Au freinage, on procède en sens inverse, comme toujours.

Démarrage, première période :

A est motrice,

$$U_1 = 1\,000 \text{ à } 0 \text{ v}, \qquad I_1 = -100 \text{ a};$$
$$W_1 = -100 \text{ à } 0 \text{ kw}, \qquad J_1 = 100 \text{ a};$$

B est génératrice,

$$U_2 = 1\,000 \text{ v}, \qquad I_2 = 100 \text{ à } 0 \text{ a};$$
$$W_2 = 100 \text{ à } 0 \text{ kw}, \qquad J_2 = 57{,}7 \text{ a}.$$

Démarrage, deuxième période :

A est génératrice,

$$U_1 = 0 \text{ à } -1\,000 \text{ v}; \qquad I_1 = -100 \text{ a};$$
$$W_1 = 0 \text{ à } 100 \text{ kw}, \qquad J_1 = 100 \text{ a};$$

B est motrice,

$$U_2 = 1\,000 \text{ v}, \qquad I_2 = 0 \text{ à } -100 \text{ a};$$
$$W_2 = 0 \text{ à } -100 \text{ kw}, \qquad J_2 = 57{,}7 \text{ a}.$$

On obtient donc

$$W'_0 = 100 \text{ kw}, \qquad W''_0 = 50 \text{ kw},$$
$$S = S_1 + S_2 = 100 + 57{,}7 = 157{,}7 \text{ kw}.$$

La machine A comprend une excitation shunt, à tension variable de + 1 000 à — 1 000 v (autoexcitation) et la machine B, une excitation shunt, à la tension constante de 1 000 v (autoexcitation). A ces excitations on en ajoute d'autres, provenant de l'un ou l'autre élément du dispositif et même d'une excitatrice spéciale. On dit qu'on réalise ainsi un fonctionnement à courant constant par tension d'alimentation constante.

Le circuit magnétique de la machine A ne doit pas être saturé. En outre, le flux magnétique doit s'inverser. L'aimantation rémanente peut changer de signe et prendre des valeurs différentes dépendant des aimantations antérieures. Il s'ensuit que, malgré toutes les excitations spéciales, le fonctionnement du système dans les environs de $U_1 = 0$, $I_2 = 0$, doit être capricieux.

La machine B devant fonctionner tantôt comme motrice et tantôt comme génératrice, entre des limites de la puissance très écartées, devrait être munie d'un enroulement spécial destiné à compenser la réaction d'induit. En raison de la non saturation de la machine A, de la compensation de la machine B et de la présence de l'excitatrice spéciale, l'indice S devrait subir une certaine majoration.

Si, renonçant au fonctionnement automatique avec un courant plus ou moins constant, on fait fonctionner le système à commande, au moyen d'excitations contrôlées et si l'on opère le réglage par étapes, on peut réduire aussi bien la quantité d'énergie à transformer à l'intérieur du dispositif que sa puissance fictive, élément caractéristique matériel. On obtient ainsi

Pour n	huit	six
W'_0, en kilowatts,	75,0	66,7 (maximum),
W''_0, id ,	37,5	33,3 (moyenne),
S, id ,	140,3	134,4 sans coupure finale de courant,
S', id ,	117,0	104,1 avec coupure finale de courant.

X. **Dispositif Seefehlner.** — M. Seefehlner, auteur d'un ouvrage bien connu (1), a imaginé un dispositif (fig. 14), qui présente quelque analogie avec le dispositif S. T. A. R. et qui évite tout changement de

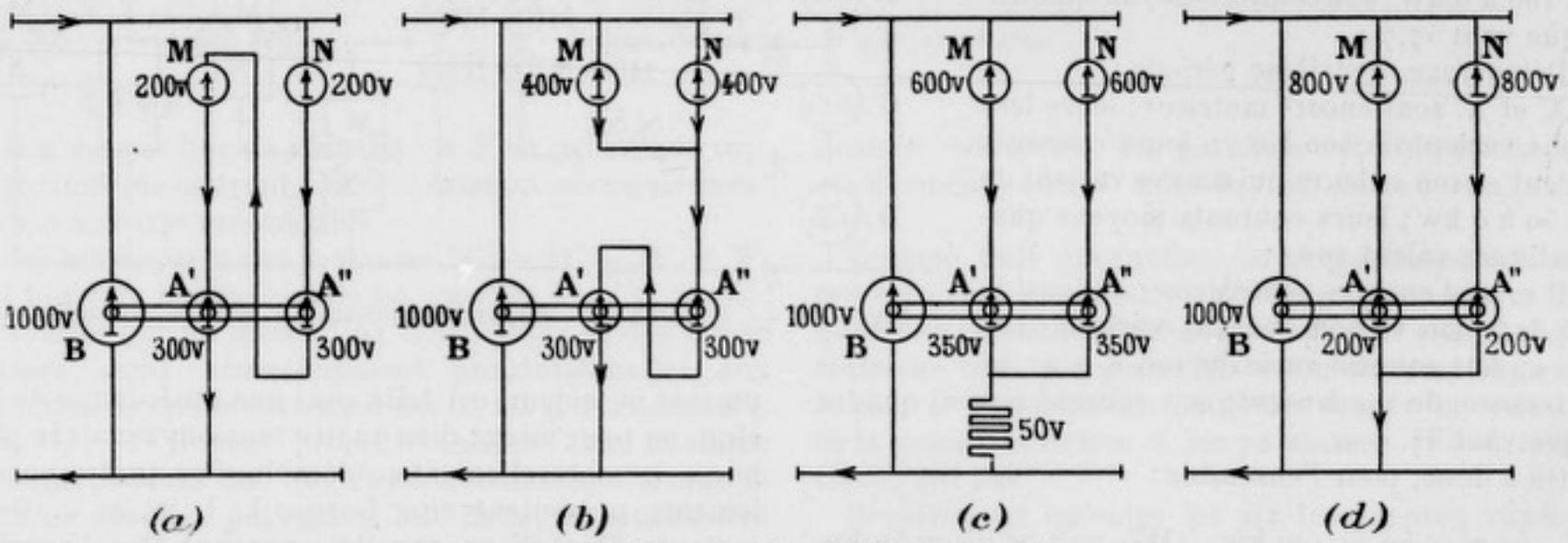


Fig. 14. — Schémas du dispositif de M. Seefehlner.

polarité avec les incertitudes de fonctionnement qui en découlent. Le dévolteur-survolteur, machine unique A, est remplacé par deux machines A' et A" identiques, uniquement dévoltrices, chacune en série avec un des moteurs M et N.

Dans une première période du démarrage, les deux couples de machines A' + M et A" + N sont en série sous la tension U de la ligne (1 000 v). Les tensions de A' et A" variant de 500 à 0 v, celles de M et N doivent varier de 0 à 500 v. A ce moment les machines A' et A" pourraient être mises en court-circuit sans inconvénient et les moteurs M et N continueraient à marcher en série, sous la tension de la ligne, sans intervention du groupe de réglage.

Dans une deuxième période du démarrage, les deux couples A' + M et A" + N sont en parallèle sous la tension de la ligne. Les tensions de A' et A" préalablement reportées de 0 à 500 v, varient de nouveau de 500 à 0 v, ce qui oblige celles de M et N à varier maintenant de 500 à 1 000 v. A ce point les machines A' et A" peuvent être mises en court-circuit sans inconvénient et les moteurs M et N peuvent continuer à marcher en parallèle, sous la tension de la ligne, sans intervention du groupe de réglage.

Mais lors du passage de la première à la deuxième période du démarrage, il faut changer les connexions des deux couples et changer d'une valeur extrême à l'autre la tension des deux dévolteurs. Cette opération exige une coupure de circuit, soit une rupture du courant et la suppression du couple des moteurs principaux.

(1) E.-E. Seefehlner et H.-H. Peter. *Traction électrique*, 1926, édité par la librairie Béranger à Paris.

A vrai dire, M. Seefehlner, qui a étudié également la commande de quatre moteurs au moyen de deux dévolteurs, prévoit, entre les deux dispositions extrêmes que nous venons de décrire, une première disposition intermédiaire où les armatures A′ et A″ restent en série entre elles, alors que les moteurs principaux sont déjà en parallèle, et une seconde disposition intermédiaire où une résistance auxiliaire est mise en série avec les couples A′ + N et A′ + N connectés en parallèle. Mais l'avantage de ces dispositions hybrides nous paraît contestable, car il nous semble qu'elles ont pour effet d'augmenter le nombre des coupures de circuits, d'augmenter les pertes d'énergie, d'exiger des dévolteurs plus largement calculés. Nous en tenant donc aux deux dispositions extrêmes sans intermédiaires, on peut décrire le fonctionnement du dispositif Seefehlner comme suit :

Démarrage, première période :

A′ et A″ sont motrices; leurs tensions varient de 500 à 0 v; leurs courants valent — 100 a; leurs puissances variant de — 50 à 0 kw; leurs courants moyens quadratiques valent 100 a;

Best génératrice; sa tension est de 1 000 v; son courant varie de 100 à 0 a; sa puissance de 100 à 0 kw; son courant moyen quadratique vaut 57,7 a.

Démarrage, deuxième période :

A′ et A″ sont encore motrices; leurs tensions varient de 500 à 0 v; leurs courants valent — 100 a; leurs puissances varient de — 50 à 0 kw; leurs courants moyens quadratiques valent 100 a;

B est est encore génératrice; sa tension est de 1 000 v; son courant varie de 100 à 0 a; son courant varie de 100 à 0 a; sa puissance, de 100 à 0 kw; son courant moyen quadratique vaut 57, 7 a.

On a donc, pour l'ensemble :

$$W'_0 = 2 \times 50 = 100 \text{ kw}, \quad W''_0 = 2 \times 25 = 50 \text{ kw},$$

$$S = S_1 + S_2 = 2 \times 500 \times 100 + 1000 \times 57{,}7, \text{soit } 157 \text{ kw}.$$

Tous ces résultats coïncident exactement avec ceux obtenus pour le dispositif S. T. A. R.

Alors que dans le cas du système S. T. A. R. la machine B est successivement génératrice et motrice tant au freinage qu'au démarrage, dans le cas Seefehlner leest génératrice au démarrage et motrice au freinage. Elle demanderait toujours un enroulement compensateur.

Le fonctionnement du groupe Seefehlner est certainement moins capricieux que celui du groupe S. T.A.R., mais il occasionne une rupture du courant des moteurs M et N que celui du groupe S. T. A. R. évite.

Il va sans dire que si, après le réglage continu ou à un nombre très grand de temps, on étudie ceux à huit et à six temps, on trouve encore pour les quatre puissances W'_0, W''_0, S, S', respectivement les mêmes valeurs pour le dispositif Seefehlner que pour le dispositif S.T.A.R., car les seuls changements à faire consistent à substituer 2×375 à 750 v, dans le cas des huit temps et $2 \times 333{,}3$ à $666{,}7$ v, dans celui des six temps.

XI. **Dispositifs Somaini**. — Ces dispositifs (1) diffèrent de tous les autres par cette circonstance caractéristique, qu'ils opèrent le réglage de la vitesse des moteurs, non plus au moyen de tensions simples ou multiples variables, mais au moyen de tensions constantes différemment groupées.

1. Dispositif a quatre collecteurs. — Le dispositif à quatre collecteurs (fig. 15) comprend quatre enroulements induits A, B, C, D, en série, bobinés sur deux ou même sur un seul noyau d'armature, et calculés pour donner respectivement, et dans l'ordre que nous indiquons : 125, 250, 500, 125 v, pour un total de 1 000 v. L'excitation de la machine (à deux ou même à un seul inducteur) est faite sous une quelconque de ces cinq, ou pour mieux dire quatre tensions ; mais la plus basse est naturellement préférable. Ces quatre enroulements présentent cinq bornes k, l, m, n, o. Deux moteurs M et N en parallèle peuvent être branchés successivement entre k et l (ou entre n et o), entre l et m, entre k et m, entre m et n, entre m et o, entre l et n, entre k et n (ou entre l et o), entre k et o. Ils sont soumis ainsi à une tension variant par échelons égaux de 125 v entre 125 et 1 000 v.

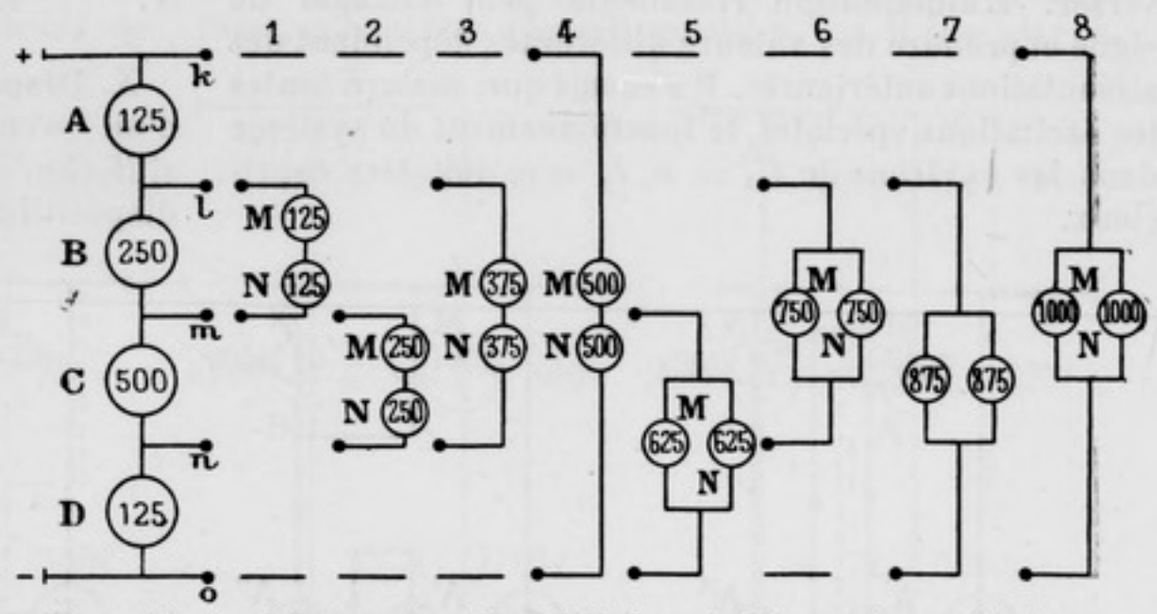


Fig. 15. — Schéma du dispositif Somaini à quatre collecteurs.

Mais il est plus avantageux de réaliser les quatre premiers temps avec les moteurs M et N en série et en les branchant successivement : entre l et m, entre m et n, entre l et n, entre k et o.

On pourrait encore soumettre les moteurs, connectés en série, aux tensions intermédiaires de 62,5, 187,5, 312,5, 375,0, 437,5 v et réaliser un réglage à huit temps entre 62,5 et 500 v et à quatre temps entre 625 et 1 000 v. Mais cela ne semble guère intéressant.

(1) G. Somaini ; Système de traction à courant continu à récupération totale automatique. *Revue générale de l'Electricité*, 26 janvier et 2 février 1929, t. XXVI, p. 135-150 et 271-179 (traduit par L. Vellard).

Si l'on se sert de deux moteurs en série d'abord et en parallèle ensuite, on trouve deux alternatives au septième temps. Il est préférable d'adopter l'insertion des moteurs entre l et o, plutôt qu'entre k et n, si l'on vise à réduire la puissance fictive du groupe, sa charge restant la même dans les deux cas.

Il est à remarquer qu'entre les huit temps, sept ruptures de courant sont inévitables.

Les valeurs des courants en ampères et des puissances en kilowatts mis en jeu au démarrage sont enregistrées dans le tableau I.

Comme on a

$U_1 = 125$ v, $U_2 = 250$ v, $U_3 = 500$ v, $U_4 = 125$ v;

$J_1 = 98{,}4$ a, $J_2 = 58.7$ a, $J_3 = 39.5$ a, $J_4 = 68{,}5$ a

on obtient

$$S = 12{,}30 + 14{,}70 + 19{,}75 + 8{,}56 = 55{,}31 \text{ kw.}$$

En résumé

$W''_0 = 46{,}88$, $W''_0 = 21{,}95$ et $S = 55{,}31$ kw.

Tableau I. — *Valeurs des courants, en ampères, et puissances, en kilowatts, en jeu au démarrage en huit temps.*

Temps	Moteurs en série				Moteurs en parallèle			
	1	2	3	4	5	6	7	8
I_1	−25	−50	−75	0	−125	−150	−175	0
I_2	+75	−50	+25	0	−125	+ 50	+ 25	0
I_3	−25	+50	+25	0	+ 75	+ 50	+ 25	0
I_4	−25	−50	−75	0	+ 75	−150	+ 25	0
W_1	− 3,13	− 6,25	− 9,38	0	− 15,63	− 18,75	− 21,88	0
W_2	+18,75	−12,50	+ 6,25	0	− 31,25	+ 12,50	+ 6,25	0
W_3	−12,50	+25,00	+12,50	0	+ 37,50	+ 25,00	+ 12,50	0
W_4	− 3,13	− 6,25	− 9,38	0	+ 9,38	− 18,75	+ 3,13	0
W_0	18,75	25,00	18,75	0	46,88	37,50	21,88	0

Valeur moyenne : $W''_0 = 21{,}95$ kw.

Il n'y a pas lieu de réduire S à S' au prix d'une rupture finale de courant, celle-ci existant nécessairement avec six autres précédentes.

On remarquera que la somme $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ est toujours nulle. Comme les tensions U_1, U_2, U_3, U_4, produites par un même flux magnétique et une même vitesse, sont nécessairement proportionnelles aux nombres de spires correspondants, les puissances W_1, W_2, W_3, W_4, sont proportionnelles aux nombres d'ampères-tours des quatre enroulements. Puisque la somme desdites puissances est nulle, la somme des ampères-tours correspondants l'est également. La réaction globale de l'armature, si les quatre enroulements sont portés par un même noyau, est donc nulle : les balais peuvent être calés sur un plan toujours neutre, et la machine ne demande pas d'enroulements compensateurs.

2. Dispositif a trois collecteurs. — Le dispositif à trois collecteurs (fig. 16) comprend trois enroulements induits A, B, C, en série, bobinés sur un même noyau d'armature et calculés pour donner respectivement 250, 500 et 250 v (ensemble 1 000 v) dans l'ordre indiqué. L'excitation peut être faite sous l'une quelconque des trois tensions disponibles, de préférence sous la plus réduite. Ces trois enroulements présentent quatre bornes : k, l, m, n. Les deux moteurs M et N sont d'abord connectés en série et branchés successivement entre m et n (ou entre k et l), entre l et m, entre k et m (ou entre l et n), entre k et n; ils sont ensuite connectés en parallèle et branchés successivement entre k et m (ou entre l et n), entre k et n.

Comme trois alternatives sont possibles, huit successions sont possibles symétriques deux à deux. Des quatre successions réellement distinctes celle indiquée ci-dessus hors des parenthèses, ou sa symétrique, est la plus avantageuse au point de vue de la réduction de la puissance fictive S, les puissances W'_0 et W''_0 ne changeant pas.

Remarquons qu'entre les six temps, cinq ruptures de courant sont inévitables. On trouve au démarrage les valeurs des courants et puissances indiquées au tableau II.

Tableau II. — *Valeurs des courants, en ampères, et des puissances, en kilowatts, en jeu au démarrage à six temps.*

Temps	Moteurs en série				Moteurs en parallèle	
	1	2	3	4	5	6
I_1	−25	−50	+25	0	+ 50	0
I_2	−25	+50	+25	0	+ 50	0
I_3	+75	−50	−75	0	−150	0
W_1	− 6,25	−12,50	+ 6,25	0	+ 12,50	0
W_2	−12,50	+25,00	+12,50	0	+ 25	0
W_3	+18,75	−12,50	−18,75	0	− 37,50	0
W_0	18,75	25,00	18,75	0	37,50	0

Moyenne : $W''_0 = 17{,}2$ kw.

Comme on a

$$U_1 = 250 \text{ v}, \quad U_2 = 500 \text{ v}, \quad U_3 = 250 \text{ v};$$
$$J_1 = 33{,}1 \text{ a}, \quad J_2 = 33{,}1 \text{ a}, \quad J_3 = 85{,}7 \text{ a},$$

on obtient

$$S = 8{,}3 + 16{,}55 + 21{,}4 = 46{,}25 \text{ kw}.$$

En résumé

$$W'_0 = 37{,}50, \quad W''_0 = 17{,}2 \quad \text{et} \quad S = 46{,}25 \text{ kw}.$$

Il convient de noter que ce réglage n'est pas uniforme : les tensions successives aux bornes des moteurs sont 125, 250, 375, 500, 750, 1 000 v ; la première partie du démarrage, par échelons de 125 v (comme dans un

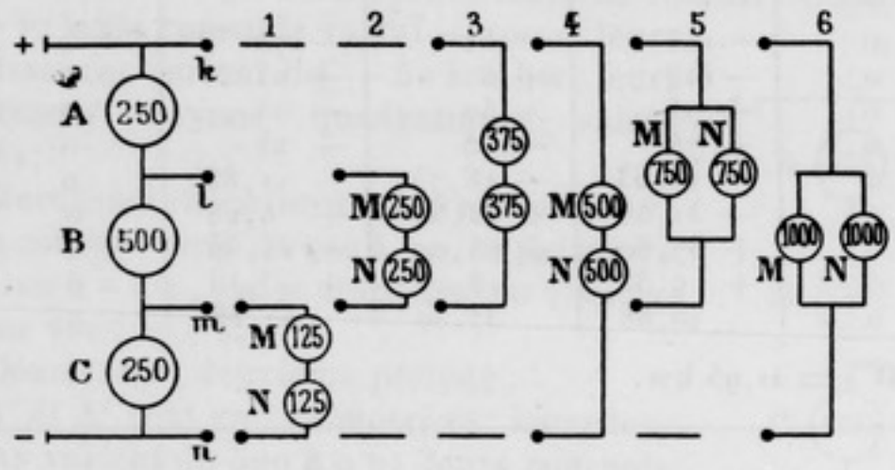


Fig. 16. — Schéma du dispositif Somaini à trois collecteurs.

réglage à huit temps), est douce, alors que la seconde partie, par échelons de 250 v (comme dans un réglage à quatre temps), est très brusque. Le temps correspondant à 750 v se prolonge plus que les autres ; aussi, pour le calcul des moyennes sur la période T, avons-nous supposé que les premiers quatre temps avaient chacun une durée égale à $\frac{1}{8}\ T$, et les suivantes une durée égale à $\frac{1}{4}\ T$.

Encore une fois, il n'y a pas lieu de rechercher la puissance fictive réduite S'. De même ici la somme des trois puissances instantanées W_1, W_2, W_3 est toujours nulle, et la somme des ampères-tours de l'armature également, avec la conséquence qui en découle.

3. Introduction de résistances. — Le réglage au moyen du dispositif Somaini à quatre collecteurs présente donc sept ruptures de courant et sept sauts uniformes de 125 v ; celui au moyen du dispositif Somaini à trois collecteurs présente cinq ruptures de courant et quatre sauts de 125 v suivis de deux sauts de 250 v. Donc, si un réglage normal à six temps est naturellement plus brusque qu'un réglage normal à huit temps, le réglage Somaini à six temps est beaucoup plus brusque qu'un réglage normal à huit temps. En effet, les ruptures de courant et les échelons exagérés de tension produisent des à-coups dont, en traction, se ressentent d'abord les ressorts de suspension des moteurs et leurs engrenages, et ensuite les voitures. Afin de diminuer ces inconvénients, on fait usage d'une ou de deux résistances, dites de commutation, que l'on met en série avec les moteurs à chaque changement de tension et en court-circuit à l'aide d'un relais aussitôt que le courant dans les moteurs est suffisamment diminué. Ce sont, en fait, des résistances de démarrage ou de freinage à intervention réduite.

Probablement, on se sert d'une seule résistance aux trois premiers changements de connexions et de deux résistances aux deux derniers. Mais si une résistance peut effectivement étouffer une pointe de courant, elle ne saurait remédier à une absence de courant, de sorte que le couple passant, par exemple, de 75 à zéro et de zéro à 150, sans intervention de résistances, passera tout de même de 75 à zéro et de zéro à 100, avec intervention de résistances. En outre, toute résistance introduite dans le circuit des moteurs est une source de dissipation d'énergie non négligeable. Nous allons nous en rendre compte, sinon exactement, ce qui est impossible, au moins d'une manière suffisamment approchée.

Sur la figure 17 sont représentées les six courbes de la vitesse en fonction du courant (du moteur à 1 000 v absorbant 100 a au démarrage que nous avons mis à la base de tous nos calculs) correspondant aux tensions de 125, 250, 375, 500, 750, 1 000 v du réglage Somaini à trois collecteurs, ainsi que les sept courbes analogues correspondant aux tensions : $(250 - 0{,}4\,i)$, $(375 - 0{,}4\,i)$, $(500 - 0{,}4\,i)$, $(750 - 0{,}8\,i)$, $(750 - 0{,}4\,i)$, $(1\,000 - 0{,}8\,i)$, $(1\,000 - 0{,}4\,i)$, produites par l'insertion de résistances égales à 0,4 et 0,8 ohm en série avec chacun des moteurs M et N.

La même figure montre encore le zigzag de démarrage dans l'hypothèse d'un courant moyen de 100 a environ, (produisant sur 17 t une accélération moyenne de 0,70 m:s:s, et sous l'influence d'un relais qui supprime l'effet des résistances lorsque le courant s'est réduit à la valeur de 100 a.

On voit que le premier usage de la résistance de 0,4 ohm a lieu entre 130 et 100 a, pour une vitesse comprise entre 1,4 et 2,5 km:h, c'est-à-dire entre 0,39 et 0,695 m:s. Il dure donc 0,435 s et consomme

$$\frac{(0{,}4 \times 115 \times 115 \times 0{,}435)}{3\,600} = 0{,}640 \text{ w-h}.$$

Le deuxième usage de la même résistance est fait entre 125 et 100 a, entre 4,2 et 5,2 km:h, soit entre 1,17 et 1,44 m:s. Il dure donc 0,385 s et consomme

$$\frac{(0{,}4 \times 112{,}5 \times 112{,}5 \times 0{,}385)}{3\,600} = 0{,}545 \text{ w-h}.$$

Le troisième usage de cette résistance est fait entre 125 et 100 a, entre 6,7 et 7,8 km : h, soit entre 1,84 et

2,16 m:s. Il dure donc 0,455 s et consomme

$$\frac{(0{,}4 \times 112{,}5 \times 112.5 \times 0{,}455)}{3\,600} = 0{,}643 \text{ w-h.}$$

Le premier usage de la résistance de 0,8 ohm est fait entre 130 et 100 A, entre 10,6 et 12,4 km:h, soit

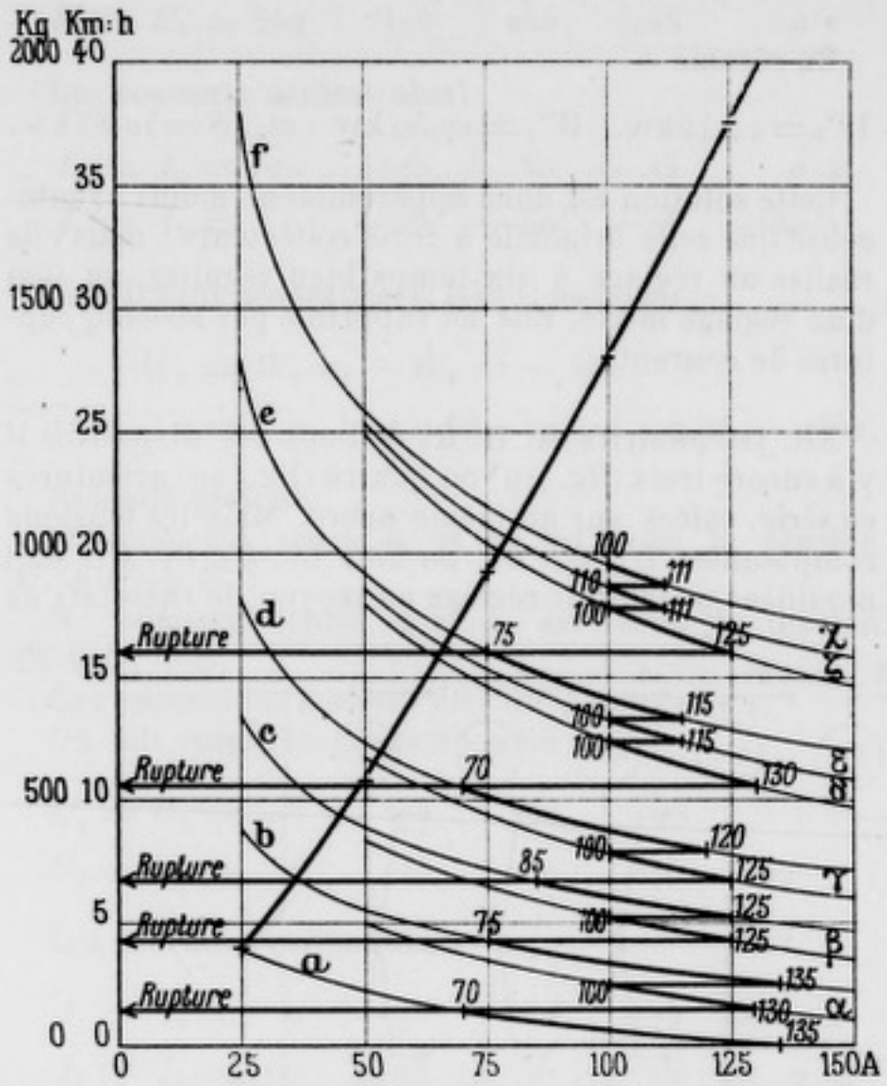


Fig. 17. — Courbes de la vitesse en fonction du courant du moteur absorbant 100 A avec le dispositif de réglage Somaini pour les tensions de : a, 125 v; b, 250 v; c, 375 v; d, 500 v; e, 750 v; f, 1 000 v. Courbes de la vitesse en fonction du courant de ce même moteur avec des résistances en série, conduisant aux tensions en volts : α, 250-0,4 i; β, 375-0,4 i; γ, 500-0,4 i; δ, 750-0,8 i; ε, 750-0,4 i; ζ, 1 000-0,8 i; χ, 1 000-0,4 i.

entre 2,94 et 3,44 m:s. Il dure donc 0,714 s et consomme

$$\frac{(0{,}8 \times 115 \times 115 \times 0{,}714)}{3\,600} = 2{,}09 \text{ w-h.}$$

Le quatrième usage de la résistance de 0,4 ohm est fait entre 115 et 100 A, entre 12,4 et 13,2 km:h, soit entre 3,44 et 3,67 m:s. Il dure donc 0,328 s et consomme

$$\frac{(0{,}4 \times 107{,}5 \times 107{,}5 \times 0{,}328)}{3\,600} = 0{,}422 \text{ w-h.}$$

Le deuxième usage de la résistance de 0,8 ohm est fait entre 125 et 100 A, entre 16,0 et 17,8 km:h, soit entre 4,44 et 4,94 m:s. Il dure donc 0,714 s et consomme

$$\frac{(0{,}8 \times 112{,}5 \times 112{,}5 \times 0{,}714)}{3\,600} = 2{,}01 \text{ w-h.}$$

Le cinquième usage de la résistance de 0,4 ohm est fait entre 111 et 100 A, entre 17,8 et 18,7 km:h, soit entre 4,94 et 5,20 m:s. Il dure donc 0,371 s et consomme

$$\frac{(0{,}4 \times 105{,}5 \times 105{,}5 \times 0{,}371)}{3\,600} = 0{,}46 \text{ w-h.}$$

L'intervention des résistances dure donc globalement 3,4 s (alors que le démarrage complet dure 7,7 s environ) et l'énergie absorbée dans ces résistances, pour chaque moteur principal, est de 6,81 w-h.

Si nous supposons maintenant que la perte au freinage soit égale à la perte au démarrage, et que, dans le cas de la traction sur chemin de fer métropolitain, par exemple, il y ait en moyenne deux démarrages et deux freinages par kilomètre, l'usage des résistances dites de commutation entraine une perte de 27,24 w-h:km, pour chaque moteur en service de 100 A sous 1 000 v.

Cette conclusion trouvera son application plus loin.

Disons, au sujet de l'influence néfaste de toute résistance placée même temporairement dans le circuit des moteurs de traction, que nous avons eu l'occasion de constater pratiquement que, même une seule intervention, au commencement du freinage, d'une résistance destinée à étouffer une seule pointe de courant pouvait augmenter d'environ 2 w-h par tonne-kilomètre la consommation normale unitaire d'énergie. Aussi, restons-nous partisans résolus de l'abolition de toute résistance quelconque dans les circuits des moteurs.

4. Dispositif Somaini modifié par l'auteur. — Nous avons étudié une modification du dispositif Somaini à trois collecteurs et à quatre bornes, en adoptant pour les trois machines A, B, C, les trois tensions de 167, 500 et 333 v (dans cet ordre) composant 1 000 v (fig. 18).

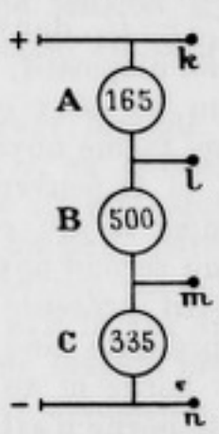


Fig. 18. — Schéma du dispositif de Somaini modifié par l'auteur.

Le démarrage est fait d'abord avec les moteurs en série et en les insérant successivement entre k et l, entre m et n, entre l et m ; ensuite avec les moteurs en

parallèle et en les insérant successivement entre k et m, entre l et n, entre k et n. Il n'y a aucune alternative à considérer. On réalise ainsi un démarrage à six temps avec des sauts de tension de 167 v tous égaux.

Dans ces conditions on a, au démarrage les valeurs du courant et de la puissance enregistrée dans le tableau III.

TABLEAU III. — *Valeurs du courant, en ampères, et de la puissance, en kilowatts, au démarrage.*

TEMPS	MOTEURS EN SÉRIE			MOTEURS EN PARALLÈLE		
	1	2	3	4	5	6
I_1	−33,3	+16,7	0	+ 66,7	−166,7	0
I_2	−33,3	+16,7	0	+ 66,7	+ 33,3	0
I_3	+66,7	−33,3	0	−133,3	+ 33,3	0
W_1	− 5,55	+ 2,78	0	+ 11,11	− 27,78	0
W_2	−16,67	+ 8,33	0	+ 33,33	+ 16,67	0
W_3	+22,22	−11,11	0	− 44,44	+ 11,11	0
W_0	22,22	11,11	0	44,44	27,78	0

Moyenne : $W''_0 = 17{,}59$ kw.

Comme on a

$$U_1 = 167, \quad U_2 = 500, \quad U_3 = 333,$$
$$J_1 = 74{,}9, \quad J_2 = 34{,}1, \quad J_3 = 63{,}9,$$

on obtient

$$S = 12{,}50 + 17{,}05 + 21{,}30 = 50{,}85 \text{ kw.}$$

En résumé

$W'_0 = 44{,}44$ kw, $W''_0 = 17{,}59$ kw et $S = 50{,}85$ kw.

Cette solution est donc apparemment moins avantageuse que celle originale à trois collecteurs ; mais elle réalise un réglage à six temps bien régulier, au lieu d'un réglage mixte. Elle ne supprime pas les cinq ruptures de courant.

XJI. **Dispositifs A. D. R.** — Dans ces dispositifs il y a encore trois (fig. 19) ou quatre (fig. 20) armatures en série, calées sur un même arbre. Mais les tensions composantes U_1, U_2, U_3, ou bien U_1, U_2, U_3, U_4, sont modifiées pendant le réglage au moyen de rhéostats de

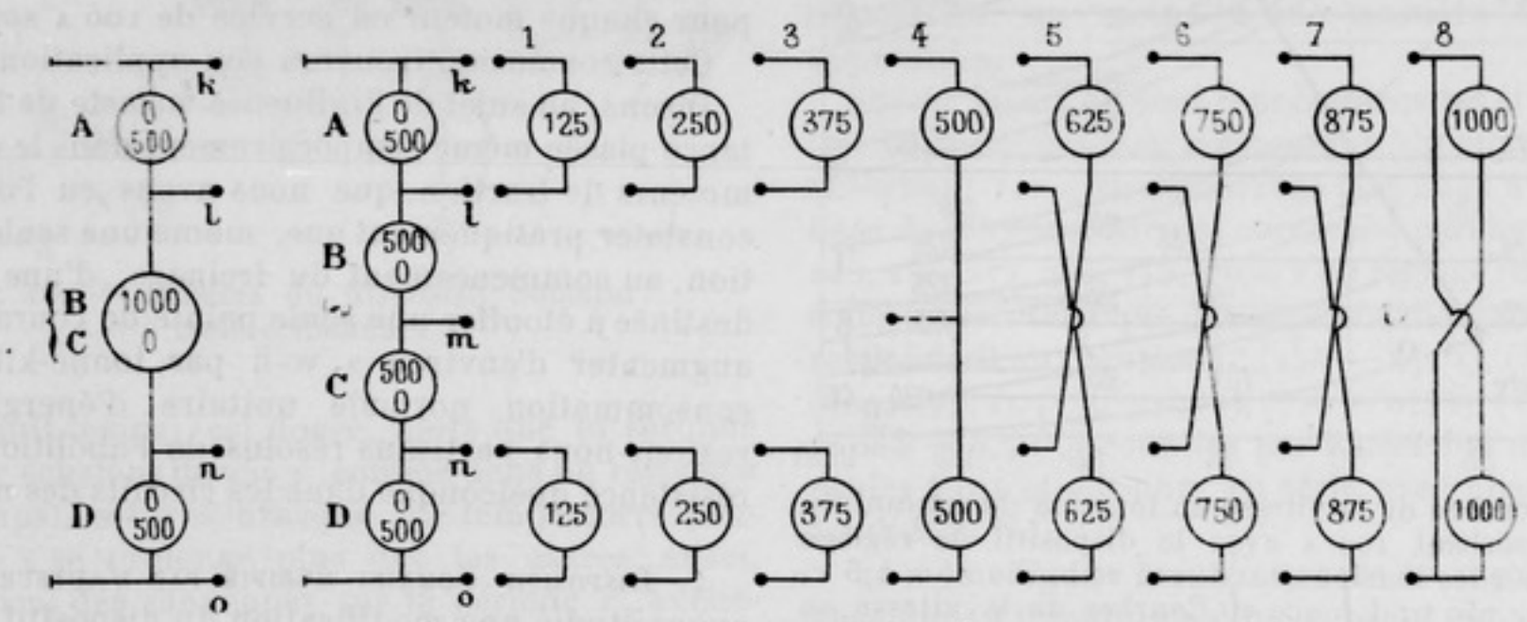


Fig. 19. — Schéma du dispositif A. D. R. à trois armatures en série.
Fig. 20. — Schéma du dispositif A. D. R. à quatre armatures en série.

champ. La distribution des tensions est toujours symétrique : $U_1 = U_4$ et $U_2 = U_3$, dans celui à quatre. Ceci fait que dans le premier dispositif, A et C peuvent avoir un inducteur commun, les deux enroulements induits étant bobinés sur un même noyau ; et que, dans le second dispositif, A et D peuvent avoir un premier inducteur et un premier noyau communs, B et C un second inducteur et un second noyau communs.

Le premier dispositif présente quatre bornes k, l, n, o ; le second en présente cinq, k, l, m, n, o. Il y a dans le second une borne m au milieu qui manque dans le premier. Cette borne n'est pas indispensable ; mais comme $U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = 500$ v, cette borne m partage la tension de la ligne en deux parties constamment égales. Elle permet donc d'alimenter les champs inducteurs (ou tout autre circuit auxiliaire éventuel) sous la tension $\frac{U}{2}$, en dérivant ces circuits entre k et m, ou entre m et o, ce qui présente certain avantages.

Le moteur M est connecté, d'une part, constamment à la borne k et d'autre part, successivement aux bornes l, m, n, o, Le moteur N est connecté d'une part constamment à la borne o et d'autre part, successivement aux bornes n, m, l, k. Les deux ordres s'invertissent en passant du démarrage au freinage. Les changements des connexions se font simultanément des deux côtés M et N ; c'est pourquoi le groupe ABC, ou ABCD, et les deux moteurs M et N constituent, à tout instant, un système parfaitement symétrique : c'est là la caractéristique de ce mode de réglage.

Nous nous bornerons à étudier le dispositif à quatre collecteurs, et, comme toujours, le démarrage seulement.

Le démarrage, comme le freinage, se déroule en deux périodes.

Première période :
M, connecté entre k et l, est sous la tension U_1 ;
N, connecté entre n et o, est sous la tension U_4.
Ces connexions peuvent être dites « droites ».
On fait varier les tensions ainsi

$U_1 = U_4 =$	0	125	250	375	500 V
$U_2 = U_3 =$	500	375	250	125	0 V

Les courants varient ainsi

$I_1 = I_4 =$	100	75	50	25	0 A
$I_2 = I_3 =$	0	—25	—50	—75	—100 A

A et D sont génératrices, B et C motrices ;

$$W_1 = W_4 = -W_2 = -W_3 = W_0$$

=	0	9,38	12,50	9,38	0 kw.

Seconde période :
M, connecté entre k et n, est sous la tension $U_1 + U_2 + U_3$;
N, connecté entre l et o, est sous la tension $U_2 + U_3 + U_4$.
Ces connexions peuvent être dites « croisées ».
On fait varier les tensions ainsi

$U_1 = U_4 =$	500	375	250	125	0 V
$U_2 = U_3 =$	0	125	250	375	500 V

Les courants varient ainsi

$I_1 = I_4 =$	0	—25	—50	—75	—100 A
$I_2 = I_3 =$	100	75	50	25	0 A

A et D sont motrices, B et C, génératrices ;

$$-W_1 = -W_4 = W_2 = W_3 = W_0$$

=	0	9,38	12,50	9,38	0 kw.

Il est clair que dans le cas du dispositif à trois collecteurs les choses procèdent de la même manière, la machine C remplaçant la machine D et la machine B remplaçant les machines B et C.

Pour un dispositif comme pour l'autre, on trouve, pour un réglage avec

n	très grand	huit temps	six temps
$J_1 = J_2 = J_3 = J_4$, en ampères.	57,7	46,9	43,2
W'_0, en kilowatts.....	25,0	25,0	25,0
W''_0, en kilowatts	16,67	15,64	14,80
S, en kilowatts.....	115,4	93,8	86,4
S', en kilowatts.....	115,4	70,3	57,6

En correspondance de la tension maximum nécessaire, 500, ou 375, ou 333 v selon le nombre des échelons et l'admission ou non d'une rupture de courant finale, chacun des circuits magnétiques est saturé, et il n'y a pas à priori une majoration de S ou de S' de ce chef. Mais toutes les machines doivent fonctionner alternativement comme motrices et comme génératrices, et par conséquent A + D et B + C doivent être munies d'enroulements compensateurs de la réaction d'induit.

Mais comme la somme $U_1 + U_2 + U_3 + U_4$ vaut toujours 1000 v, tension bien inférieure à la somme des tensions maxima pour lesquelles sont construites les quatre machines (4×500, ou 4×375, ou 4×333 v, selon le cas), l'ensemble A + B + C + D fonctionne toujours loin de la saturation globale et le système est peu sensible aux variations brusques de la tension de la ligne.

La figure 21 fait bien comprendre pourquoi les trois changements de connexions qui se produisent au milieu

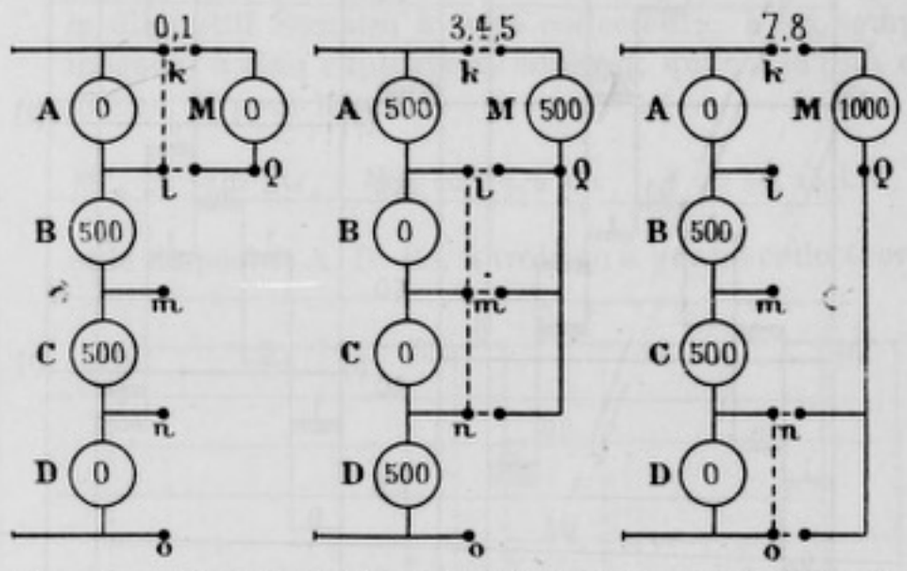


Fig. 21. — Schéma du dispositif A.D.R. à quatre armatures en série montrant que les changements de connexions sont opérés sans rupture de courant.

et à la fin du démarrage ou du freinage n'entraînent aucun inconvénient. Au milieu du démarrage ou du freinage, lorsque le moteur M (considéré à titre d'exemple) possède une tension de 500 v, sa borne négative Q peut être connectée, pour quelques instants, simultanément aux bornes l et m, ou m et n, ou même l et n du subdiviseur de tension, parce que, à ce moment-là, les machines B et C comprises entre lesdites bornes possèdent une tension sensiblement nulle, de manière que leur mise en court-circuit est admissible.

A la fin du démarrage, lorsque le moteur M possède la tension de 1000 v, sa borne négative Q peut de même être connectée simultanément aux bornes n et o du subdiviseur de tension, parce que la machine D comprise entre ces bornes possède de même une tension presque nulle ; et à la fin du freinage, lorsque le moteur M possède une tension presque nulle, sa borne négative Q peut être connectée simultanément aux bornes k et l du subdiviseur de tension, parce que la machine A comprise entre ces bornes possède alors une tension egalement presque nulle.

XIII. **Comparaison des divers systèmes.** — Les figures 22, 23, 24, 25, 26, représentent la manière dont varie la puissance sur l'arbre des machines des

différents dispositifs de réglage, ainsi que sa valeur moyenne, prise par rapport à la période complète T de l'opération supposée continue.

La figure 22 se rapporte aux dispositifs Ward-Léonard simple et double employés à un réglage à huit et à un réglage à six temps. Le diagramme marqué

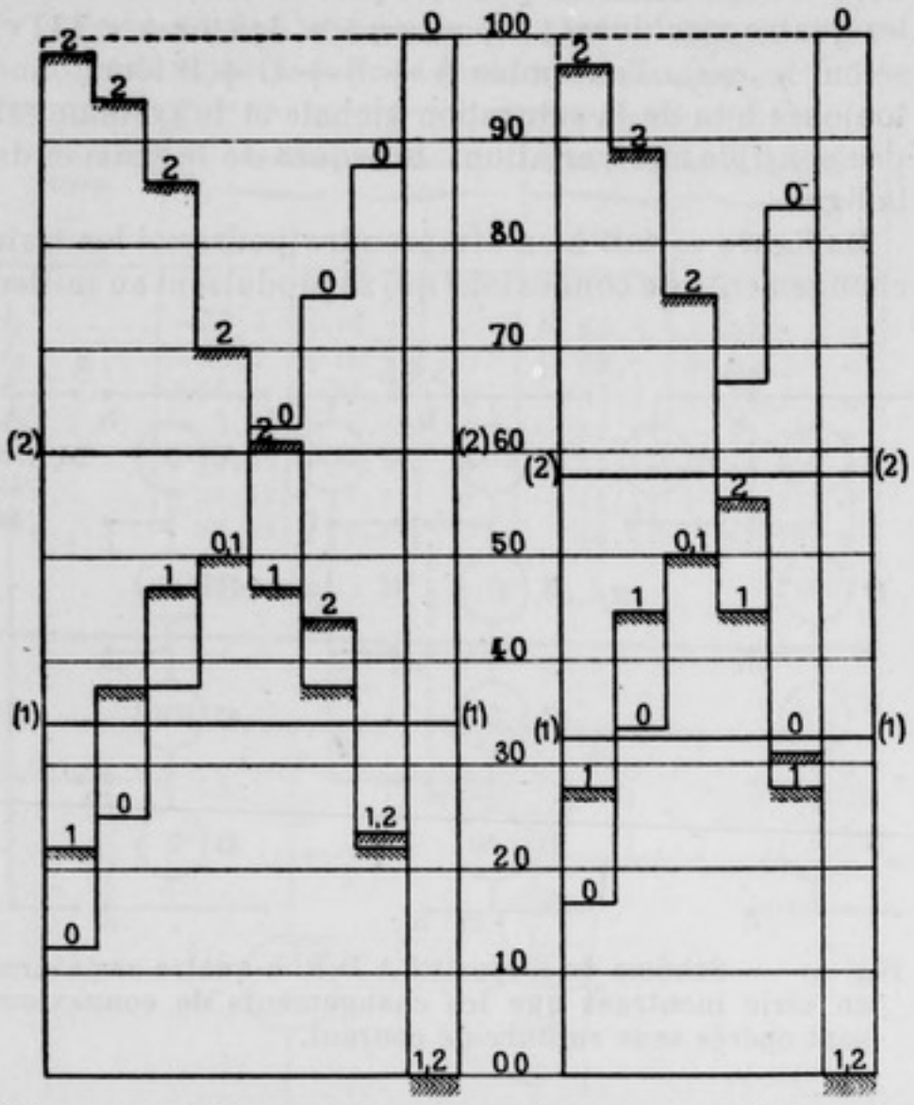


Fig. 22. — Diagrammes des puissances sur l'arbre des machines avec le dispositif Ward-Léonard : o...o, Puissance absorbée ou débitée par un seul des deux moteurs; 1...1, Puissance sur l'arbre du groupe Ward-Léonard simple; 2...2, Puissance sur l'arbre du groupe Ward-Léonard double.

oo . . . oo sur cette figure et sur les suivantes indique la façon dont varie la puissance demandée par un seul des deux moteurs, ou de la moitié de la puissance à fournir par la ligne. Ce même diagramme peut donc servir à représenter la variation de la moitié de la puissance sur l'arbre du dispositif Ward-Léonard primitif. La figure 23 se rapporte aux dispositifs Boucherot et Brunswick, simples et doubles, à excitations droites et croisées, employés à un réglage continu. La figure 22 peut se rapporter, sans changements, aux dispositifs, simple et double, à trois excitations, dérivés des précédents par l'auteur. La figure 24 se rapporte aux dispositifs S. T. A. R, (diagramme 1) et Seefehlner (diagramme 2), employés à un réglage à huit et à un réglage à six temps.

La figure 25 se rapporte aux dispositifs Somaini à quatre collecteurs (diagramme 1) à huit temps égaux, et à trois collecteurs (diagramme 2) à six temps inégaux.

La figure 26 se rapporte aux dispositifs A. D. R. (à trois ou à quatre collecteurs, indifféremment) employés à un réglage à huit et à un réglage à six temps. On remarquera l'extrême simplicité de fonctionnement qui caractérise ces dispositifs vis-à-vis de tous les autres.

Les figures 27 et 28 résument graphiquement les valeurs obtenues pour les quatre puissances caractéristiques : W'_0, puissance maximum transformée, W''_0, puissance moyenne transformée ; S, puissance fictive normale ; S', puissance fictive réduite, pour tous les dispositifs étudiés et pour un nombre de temps de réglage très grand, ou égal à huit, ou égal à six.

La figure 27 se rapporte aux trois dispositifs Ward-Léonard, aux deux dispositifs Boucherot, simple et double, à excitations « droites », aux deux dispositifs Brunswick, simple et double, à excitations « croisées », aux deux dispositifs de l'auteur, simple et double, à trois excitations. L'échelle de droite (de o à 600 kw) est double de celle de gauche (de o à 300 kw) et se réfère exclusivement au dispositif double à excitations « droites » ; aux rectangles relatifs à ce groupe on a

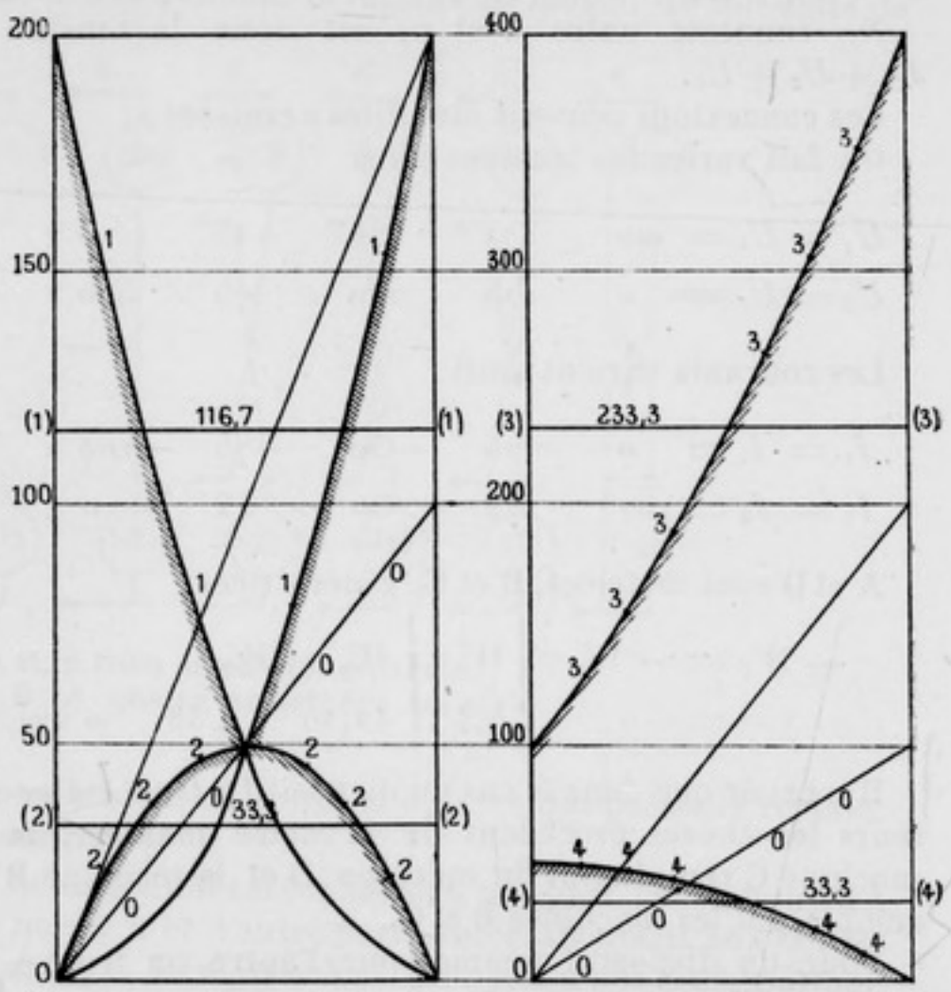


Fig. 23. — Diagrammes des puissances sur l'arbre des machines avec les dispositifs Boucherot et Brunswick : o...o, Puissance absorbée ou débitée par un seul des deux moteurs ; 1...1, Puissance sur l'arbre du groupe Boucherot simple, excitations droites ; 2.. 2, Puissance sur l'arbre du groupe Boucherot simple, excitations croisées ; 3...3, Puissance sur l'arbre du groupe Boucherot double, excitations droites ; 4...4, Puissance sur l'arbre du groupe Boucherot double, excitations croisées.

donné une largeur double pour rappeler cette circonstance.

Pour tous ces dispositifs, W'_0, W''_0, S et S' ne descendent jamais au-dessous de 50,0, 32,4, 202, 168 kw respectivement, ces valeurs se rapportant aux trois

dispositifs simples Ward-Léonard, à excitations croisées et à excitations triples.

Les croix (+) placées en tête des rectangles relatifs aux dispositifs autres que ceux de Ward-Léonard sont destinées à rappeler que les éléments caractéristiques S et S' devraient être majorés pour tenir compte

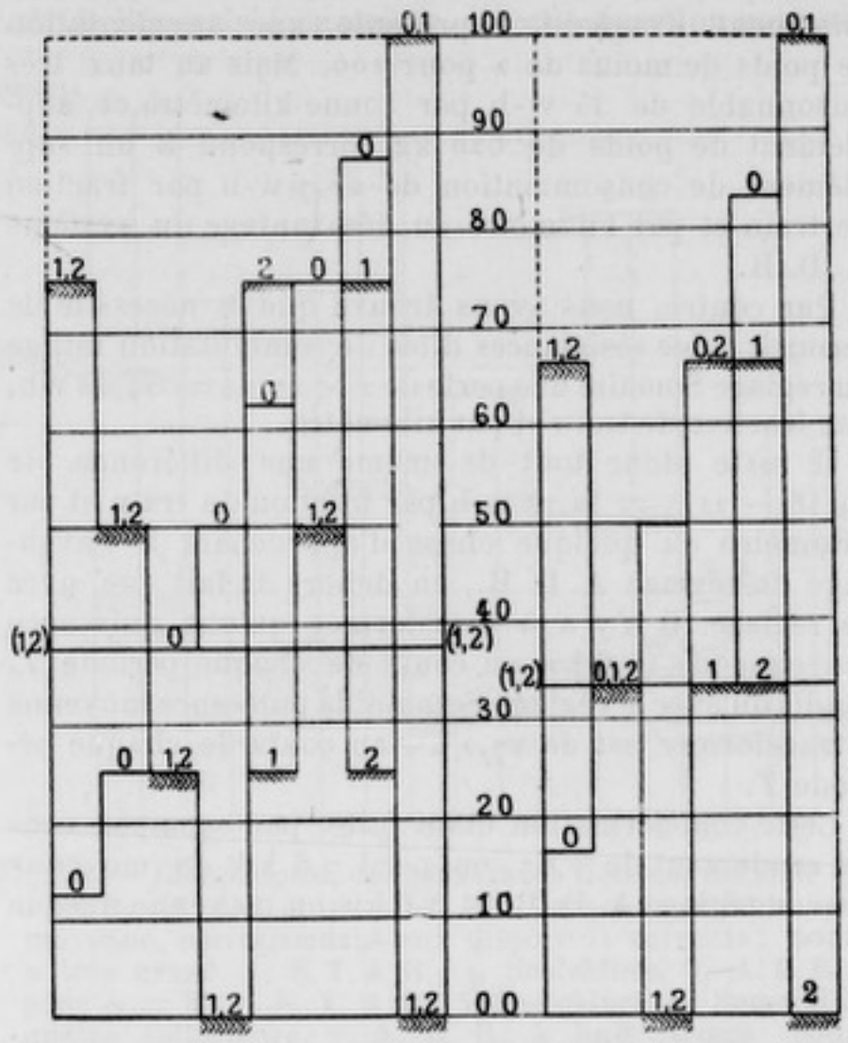


Fig. 24. — Diagrammes des puissances sur l'arbre des machines avec les dispositifs S.T.A.R. et Seefehlner : o ..o, Puissance absorbée ou débitée par un seul des deux moteurs ; 1...1, Puissance sur l'arbre du groupe S. T. A. R. (dévolteur-survolteur) ; 2...2, Puissance sur l'arbre du groupe Seefehlner (bi-dévolteur) (à gauche, démarrage en huit temps ; à droite, démarrage en six temps).

de la non saturation des circuits magnétiques. On a marqué de deux croix les rectangles relatifs aux dispositifs qui doivent être complétés par une machine auxiliaire E ou par une excitatrice non comptée dans le calcul de S et S'.

La figure 28 se rapporte aux dispositifs S. T. A. R., Seefehlner, Somaini, à quatre et à trois collecteurs, à la variante à trois collecteurs de l'auteur, et aux dispositifs A. D. R. à trois ou à quatre collecteurs. Les croix ont la même signification que dans la figure précédente.

Il résulte de l'examen des résultats exposés dans ces deux figures que les groupes S. T. A. R. et Seefehlner valent mieux que le groupe Ward-Léonard simple (et les deux autres à peu près équivalents) au point de vue de la puissance fictive S ou S', mais sont obligés de transformer une puissance plus élevée, tant en valeur maximum qu'en valeur moyenne.

Il résulte encore qu'à aucun point de vue, les dispositifs S. T. A. R. et Seefehlner ne sont aussi avantageux que les dispositifs Somaini et A. D. R. En outre, les dispositifs Somaini et dérivé sont ceux pour lesquels l'élément caractéristique S (relatif au poids, à l'encombrement et au prix du groupe de réglage) assume les valeurs minima. Donc les groupes de réglage de ce type sont les plus légers. Il n'y a pas lieu d'examiner ici si les moteurs préconisés par l'inventeur de ces dispositifs sont plus lourds que les moteurs habituels.

Il résulte non moins clairement que les dispositifs A. D. R. sont ceux qui ont le moins d'énergie à transformer.

XIV. Etude comparée et spéciale des dispositifs Somaini et A. D. R. — Examinons de plus près le dispositif Somaini à trois collecteurs, à six temps inégaux, à cinq ruptures de courant, qui est le plus en faveur, et pour lequel

$$W'_0 = 37{,}5 \text{ kw}, \quad W''_0 = 17{,}2 \text{ kw}, \quad S = 46{,}25 \text{ kw},$$

et le dispositif A. D. R., à trois ou à quatre collecteurs,

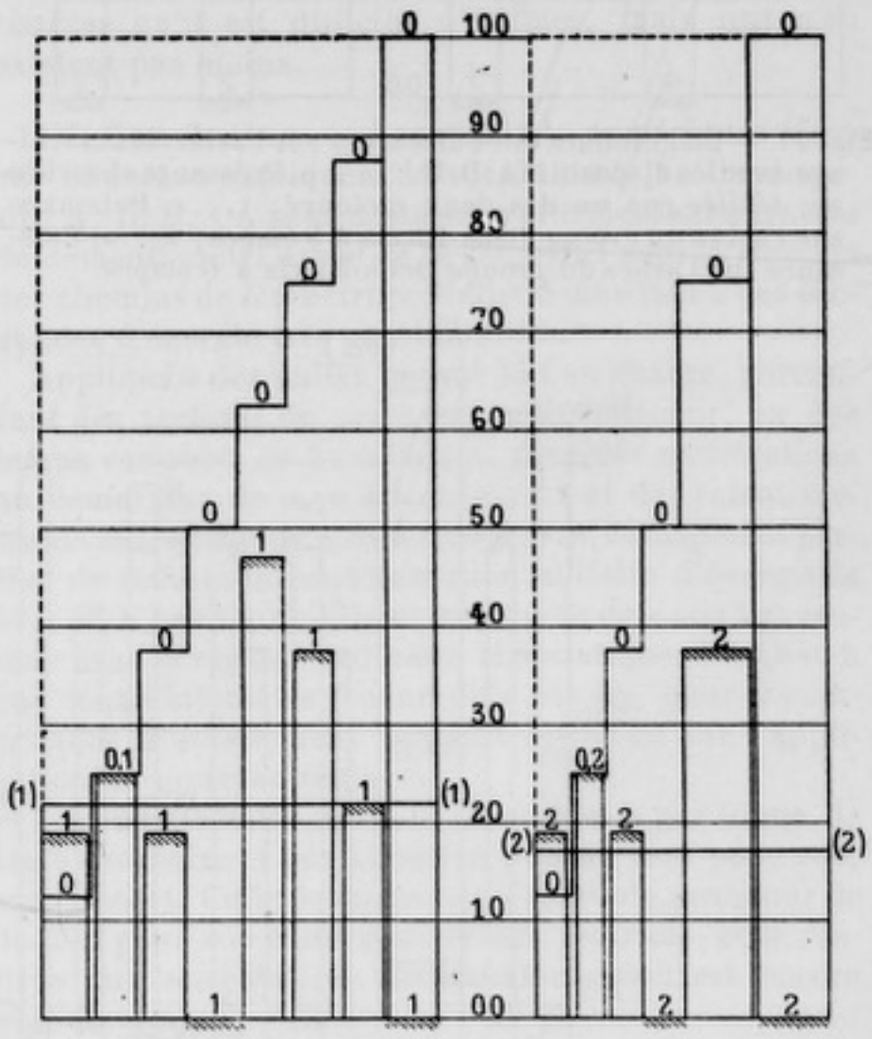


Fig. 25. — Diagrammes des puissances des machines avec les dispositifs Somaini à quatre collecteurs (1) et à trois collecteurs (2) : o...o, Puissance absorbée ou débitée par un des deux moteurs ; 1...1, Puissance sur l'arbre du groupe Somaini à 4 collecteurs ; 2...2, Puissance sur l'arbre du groupe Somaini à trois collecteurs.

à huit temps égaux, sans aucune rupture de courant qui n'est pas le plus en faveur, et pour lequel

$$W'_0 = 25{,}0 \text{ kw}, \quad W''_0 = 15{,}6 \text{ kw}, \quad S = 93{,}8 \text{ kw}.$$

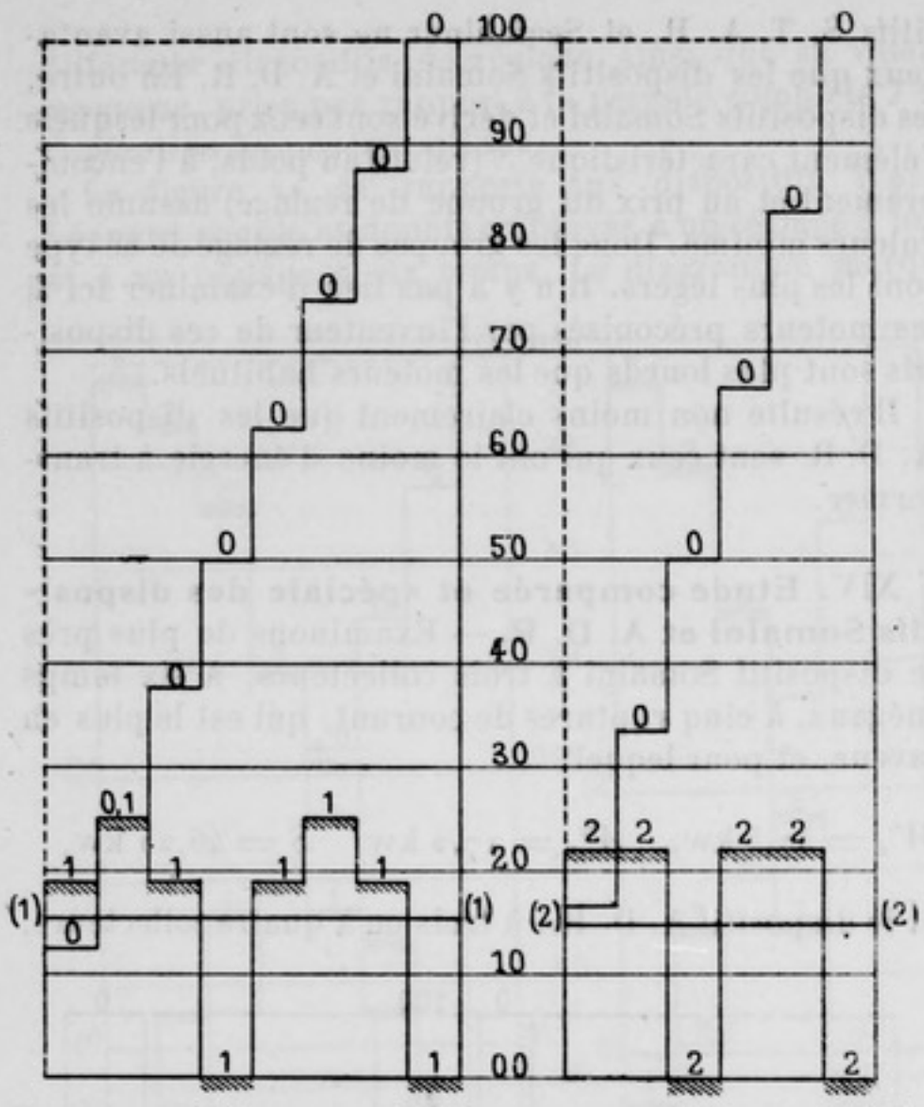


Fig. 26. — Diagrammes des puissances sur l'arbre des machines avec les dispositifs A. D. R. : o...o, Puissance absorbée ou débitée par un des deux moteurs; 1...1, Puissance sur l'arbre du groupe Della-Riccia à 8 étapes; 2...2, Puissance sur l'arbre du groupe Della-Riccia à 6 étapes.

Les poids probables des deux dispositifs considérés seuls (sans moteur ou autre appareil), à 13 kg pour une puissance fictive de 1 kw, seront respectivement de 600 et de 1220 kg. Comme ces groupes, capables de contrôler deux moteurs de 100 A sous 1000 V, se rapportent à une fraction de train pesant environ $2 \times 17 = 34$ t, cette différence de 620 kg, certainement exagérée, représente une augmentation de poids de moins de 2 pour 100. Mais au taux très raisonnable de 35 w-h par tonne-kilomètre, ce supplément de poids de 620 kg correspond à un supplément de consommation de 21,7 w-h par fraction de train et par kilomètre au désavantage du système A. D. R.

Par contre, nous avons trouvé que la nécessité de recourir à des résistances dites de commutation inflige au réglage Somaini une perte de $2 \times 27{,}24 = 54{,}48$ wh, par fraction de train et par kilomètre.

Il reste donc tout de même une différence de $54{,}48 - 21{,}7 = 32{,}78$ w-h par fraction de train et par kilomètre ou quelque chose d'approchant à l'avantage du réglage A. D. R., en dehors du fait que, avec ce réglage, il n'y a à transformer qu'une puissance moyenne de 15,6 kw au cours de chaque période T, tandis qu'avec le réglage Somaini la puissance moyenne à transformer est de 17,2 kw au cours de chaque période T.

Cette transformation étant faite, par exemple, sous un rendement de 0,67, on perd 7,8 kw en moyenne avec le réglage A. D. R. et 8,6 kw en moyenne avec le

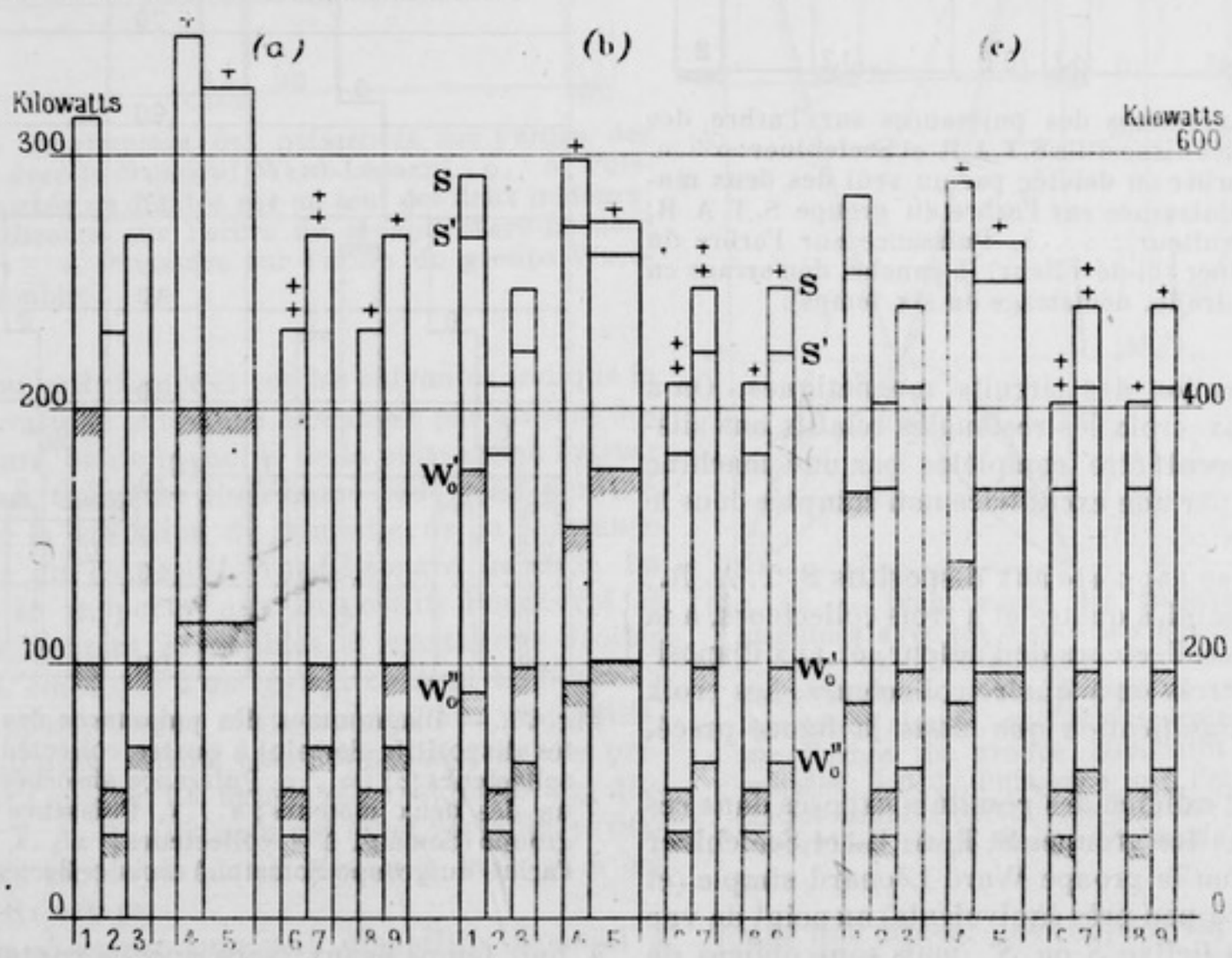


Fig. 27. — Comparaison des puissances fictives, normale et réduite, et des puissances sur l'arbre, maximum et moyenne, (a) pour n très grand, (b) pour $n = 8$, (c) pour $n = 6$, correspondant aux dispositifs suivants : 1, 2, 3, Ward-Léonard primitif, simple et double; 4, 5, Boucherot simple et double à excitations droites; 6, 7, Brunswick simple et double à excitations croisées; 8, 9, nouveaux dispositifs proposés simple et double à trois excitations.

réglage Somaini. Donc, indiscutablement, le réglage A. D. R. est le plus économique de tous les réglages considérés, sous le point de vue de la consommation unitaire d'énergie.

Il reste à voir si le dispositif A. D. R. est beaucoup plus coûteux que le dispositif Somaini, au point que les charges financières supplémentaires dépassent le coût de l'énergie économisée. A cette question nous ne

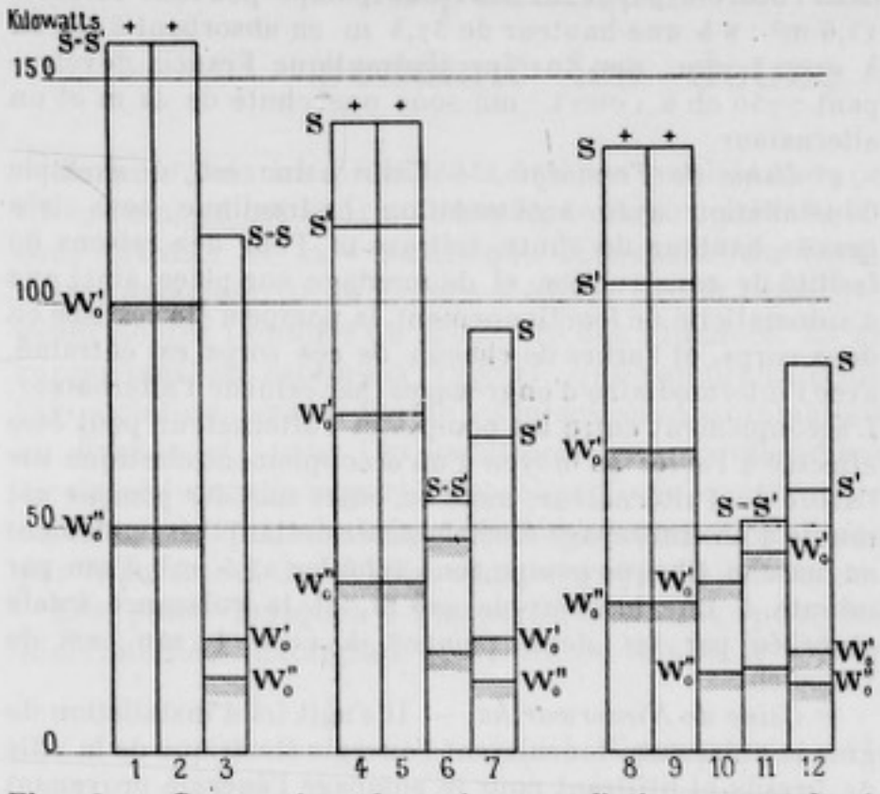


Fig. 28. — Comparaison des puissances fictives, normale et réduite, et des puissances sur l'arbre, maximum et moyenne, correspondant aux dispositifs suivants : pour n très grand, 1, S.T.A.R., 2, Seefehlner, 3, A.D.R.; pour $n = 8$, 4, S. T. A. R., 5, Seefehlner, 6, Somaini à quatre collecteurs, 7, A. D. R. à huit temps; pour $n = 6$, 8, S.T.A.R., 9, Seefehlner, 10, Somaini à trois collecteurs, 11, nouveau dispositif à trois collecteurs, 12, A.D.R. à six temps.

pouvons pas donner de réponse. Mais nous faisons remarquer qu'il y aurait lieu de tenir compte encore de l'augmentation des frais d'entretien que peuvent occasionner les chocs au matériel dus aux ruptures du courant.

Au cours d'un seul démarrage, avec un réglage à huit temps uniformes, comme celui produit avec le dispositif A.D.R. comparé au dispositif Somaini à trois collecteurs, le courant varie brusquement sept fois, de 70 à 130 A, l'effort à la jante variant de 880 à 1 980 kg.

Avec le réglage Somaini assuré par le dispositif à trois collecteurs, et adouci au moyen de deux résistances, le courant varie brusquement cinq fois de 75 A à zéro et de zéro à 125 A, l'effort à la jante variant de 960 kg à zéro et de zéro à 1 880 kg, et encore sept fois de 108 A à 120 A, l'effort à la jante variant de 1 400 à 1 770 kg. Les efforts aux dents des engrenages dépassant d'environ 50 pour 100 ceux à la jante, on a globalement, dans le premier cas,

$$1{,}50 \times 7 \times 1\,100 = 11\,550 \text{ kg},$$

et dans le second cas,

$$1{,}50\,(5 \times 960 + 5 \times 1\,880 + 7 \times 370) = 25\,185 \text{ kg}.$$

pour chacun des deux moteurs contrôlés.

La différence globale des chocs s'établit donc à

$$2\,(25\,185 - 11\,550) = 27\,270 \text{ kg par démarrage.}$$

Reprenant l'hypothèse de deux démarrages et deux freinages par kilomètre, et en supposant un service de 5 000 heures par an à la vitesse commerciale de 24 km : h, on trouve un nombre de 480 000 séries de chocs par an. Le combinateur qui coupe les courants et les engrenages et ressorts des moteurs où se ressentent les efforts brusques doivent donc être installés et entretenus en conséquence, et ce sont là des charges qu'il est difficile d'estimer, mais qui n'en existent pas moins.

XV. **Conclusion**. — Les résultats numériques trouvés ci-dessus expliquent le succès pratique du dispositif A. D. R. On peut désormais affirmer, sans crainte de démenti, que l'usage de ce dispositif dans la traction des chemins de fer métropolitains donne lieu à des économies d'énergie très considérables.

Appliqué à des unités pesant 35 t en charge, parcourant des sections de 411 à 647 m de longueur, en des temps variables de 51 à 80,4 s, avec des accélérations au démarrage de 0,70 à 1,00 m:s:s et des ralentissements au freinage de 0,80 à 1,20 m:s:s, ce dispositif permet de réduire la consommation unitaire d'énergie de 51,1 w-h par tonne-kilomètre (tonne de 1 000 kg) réalisée avec le réglage ordinaire rhéostatique, à 34,8 w-h par tonne-kilomètre (tonne de 1 045 kg, pour y comprendre le supplément de poids introduit par l'application du nouveau réglage).

L'économie nette est donc de 16,3 w-h par tonne de train ordinaire et par kilomètre, ou de 32,6 pour 100, sans déchet. Cette économie de l'ordre de grandeur de 30 à 35 pour 100 étant réalisée aux motrices, celle réalisée aux sous-stations de transformation est encore plus élevée.

A. DELLA RICCIA.

Revues, analyses et informations

L'accumulation d'énergie par pompage (1).

1. GÉNÉRALITÉS. — L'accumulation d'énergie par pompage de l'eau en vue de régulariser la production des usines génératrices et de permettre de faire face plus facilement aux pointes ne saurait plus être discutée aujourd'hui, au point de vue économique. L'auteur se propose seulement de montrer qu'elle est applicable à des installations de caractéristiques très différentes en donnant la description de quelques réalisations types en service en Europe.

(1) A. PAGE. *The electrical Review*, 7 février 1930, t. CVI, p. 242-246, 2 000 mots, 11 figures.

2. DESCRIPTIONS D'INSTALLATIONS EXISTANTES. — 1° *Usine de Tübingen*, — Dans cette usine, qui remplace une installation d'accumulateurs électriques, l'accumulation s'effectue dans un bassin artificiel en ciment armé dont le volume permet de pomper pendant seize heures par jour et d'alimenter une turbine hydraulique pendant les huit autres heures. L'usine génératrice comprend une turbine hydraulique Francis développant 288 ch à 1 500 t : mn sous une chute de 112 m. Cette turbine entraîne, par l'intermédiaire d'un embrayage, un alternateur accouplé à un moteur à courant continu, lequel actionne la pompe, également par l'intermédiaire d'un embrayage. Celle-ci, qui peut aussi être entraînée par l'alternateur fonctionnant en moteur, peut refouler 5 m³ : mn à une hauteur de 120 m. Grâce aux embrayages, l'alternateur et le moteur à courant continu peuvent être employés comme groupe convertisseur. Le courant continu est fourni par une usine génératrice à vapeur et le courant alternatif, par une usine hydroélectrique. Notons enfin qu'il n'y a qu'une seule conduite entre le réservoir et l'usine, qui se divise à son arrivée à cette dernière en deux branches munies de vannes et de clapets automatiques. Bien que cette usine soit de très petite puissance, elle constitue un exemple typique d'une installation d'accumulation d'énergie par pompage car on y trouve tous les éléments nécessaires et suffisants pour le fonctionnement d'une telle installation. Ce sont : le réservoir entièrement artificiel avec une seule conduite forcée, la hauteur de chute moyenne avec une petite puissance, et enfin la grande souplesse des combinaisons électriques et hydrauliques réalisables. Toutes ces caractéristiques se retrouvent dans l'usine de Fridingen.

2° *Usine de Fridingen*. — Elle présente avec celle de Tübingen la caractéristique commune d'avoir un réservoir d'accumulation entièrement artificiel pouvant contenir 32 000 m³. Elle comporte trois groupes formés chacun d'une turbine double Pelton développant 740 ch à 1 000 t : mn sous une chute de 160 m, un alternateur de 540 kw et une pompe à trois étages absorbant 610 ch lorsqu'elle refoule 12 m³ d'eau par minute à une hauteur de 175 m. Un embrayage est prévu de part et d'autre de l'alternateur. Chaque roue de la turbine double a deux tuyères, les quatre tuyères d'une turbine étant sous la dépendance d'un régulateur de vitesse commun, qui sert aussi de régulateur de pression. Il est possible d'interrompre séparément l'arrivée d'eau de chacune des deux roues.

D'autre part, pour utiliser une hauteur de chute de 15 m provenant de la coupure d'un méandre du Danube, on a installé, à 12 m en dessous de la salle des machines, deux turbines à basse pression, développant 740 ch à 525 t : mn et une autre d'une puissance de 960 ch. Sur l'arbre de chaque turbine est montée une poulie de 1 m de diamètre faisant office de volant, qui permet de transmettre par une courroie verticale la puissance produite par la turbine au groupe situé au-dessus, dans la salle des machines. On peut, dans ces conditions, obtenir les combinaisons suivantes de fonctionnement : entraînement de la pompe soit par l'alternateur seul fonctionnant en moteur synchrone, soit par la turbine de basse chute seule, soit par les deux simultanément, soit enfin à la fois par cette turbine et celle à haute chute, et entraînement de l'alternateur par l'une ou l'autre des deux turbines.

Tous les embrayages sont du type Benn et peuvent être manœuvrés en marche.

3° *Usine d'Hemfurth*. — Cette usine est un exemple d'une installation avec accumulation hydraulique sous faible hauteur de chute, celle-ci n'étant dans le cas présent que de 41 m. Cette installation a été réalisée dans une usine hydroélectrique déjà existante dont la puissance a été ainsi doublée. Du barrage qui alimentait l'usine primitive partaient six conduites de décharge. On a réussi à brancher une turbine hydraulique et une pompe sur deux d'entre elles, et un groupe de pompage supplémentaire sur une troisième. Le groupe de pompage à axe vertical comporte dans l'ordre à partir du bas : une pompe pouvant refouler 13,6 m³ : s à une hauteur de 37,5 m en absorbant 8 250 ch à 1 000 t : mn; une turbine hydraulique Francis développant 7 750 ch à 1 000 t : mn sous une chute de 41 m et un alternateur.

4° *Usine de Tremorgio*. — Cette usine est un exemple d'installation avec accumulation hydraulique sous très grande hauteur de chute, soit 920 m Pour des raisons de facilité de construction et de montage sur place ainsi que d'automaticité de fonctionnement, la pompe a été réalisée en deux corps, et l'arbre de chacun de ces corps est entraîné, avec l'intermédiaire d'engrenages par celui de l'alternateur. L'accouplement entre les pompes et l'alternateur peut être effectué à l'arrêt au moyen d'un accouplement élastique sur l'arbre de l'alternateur; mais en outre une des pompes est munie d'un embrayage électrique permettant l'accouplement en marche. Chaque pompe peut refouler 24,5 m³ d'eau par minute à une hauteur de 920 m, et la puissance totale absorbée par les deux pompes, à 1 000 t : mn, est de 13 400 ch.

5° *Usine de Niederwartha*. — Il s'agit ici d'installation de grande puissance, fournissant l'énergie électrique de la ville de Dresde et utilisant pour le pompage l'énergie provenant d'une usine génératrice à vapeur. L'installation comprend deux réservoirs ayant chacun une contenance de 1 900 000 m³ et dont les niveaux ont une différence d'altitude de 140 m. L'usine elle-même renferme quatre groupes horizontaux de 30 000 ch. Chacun d'eux est formé d'une turbine hydraulique pouvant développer 27 000 ch à 575 t : mn, sous une hauteur de chute de 132 m, accouplée rigidement à un alternateur, qui peut, de l'autre côté et par accouplement à friction, entraîner une pompe capable de refouler 10,5 m³ d'eau par minute à une hauteur de 148 m, en absorbant 25 000 ch à 375 t : mn. Ces pompes sont d'une construction un peu spéciale : un étage auxiliaire servant à guider l'eau dans l'étage principal et fournissant une petite partie de la pression de refoulement évite aux presse-étoupe d'être soumis à la totalité de cette pression, d'où une simplification de leur préparation. Chacun de ces groupes comporte en outre une turbine hydraulique auxiliaire de 380 ch entraînant directement l'excitatrice de l'alternateur et une pompe à huile fournissant l'huile sous pression pour les paliers.

L'étage principal est muni d'aubes de guidage à réglage automatique qui se ferment en cas de manque d'énergie électrique pour empêcher les pompes de fonctionner en turbines, la fermeture étant réglée de façon à éviter toute surpression dans les conduites d'eau.

Dans toutes ces installations, le refoulement s'effectue par les mêmes conduites que celles utilisées pour l'alimentation des turbines hydrauliques et, en conséquence, des clapets d'arrêt automatiques sont prévus sur le branchement des pompes, qui évitent leur fonctionnement en turbine au cas où le moteur électrique les entraînant viendrait à s'arrêter par manque de courant — J. S.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises pendant les douze mois de l'année 1929

Comme dans les précédents articles publiés sous ce titre, les nombres figurant dans les tableaux qui suivent sont extraits de la « Statistique mensuelle du Commerce extérieur de la France » éditée par la Direction générale des Douanes du Ministère des Finances. Ils se rapportent au *commerce spécial*, qui comprend pour l'importation, les marchandises mises en consommation en France et, pour l'exportation, les marchandises d'origine française exportées et celles d'origine étrangère ou coloniale qui, admises en franchise ou nationalisées par le paiement des droits, sont renvoyées à l'étranger.

Les poids indiqués à l'importation, sont, pour les marchandises exemptes de droits ou taxées à 1,50 fr par kilogramme au plus, les *poids bruts* résultant des constatations du Service des Douanes ou des déclarations des commerçants et, pour les marchandises taxées à plus de 1,50 par kilogramme, le *poids net*. A l'exportation il n'est tenu compte que du *poids brut*.

Quant aux valeurs, il est fait état, à l'importation depuis 1921 et à l'exportation depuis 1927, des *valeurs déclarées* ; antérieurement, les valeurs étaient calculées sur la base des *derniers taux arbitrés* par les membres de la Commission permanente des Valeurs en Douane.

Les nombres indiqués pour les années 1927 et 1928 sont définitifs ; ceux de l'année 1929 ne sont que provisoires.

I. Commerce extérieur de la France.

Valeurs des importations et des exportations. — Le tableau I montre qu'en 1929 la valeur des importations a dépassé 58 milliards de francs dont plus de 13 milliards pour les objets d'alimentation, plus de 35 milliards pour les matières nécessaires à l'industrie et près de 10 milliards pour les objets fabriqués.

Dans la valeur des objets d'alimentation, les céréales entrent pour plus de 3015 millions de francs, les vins

Tableau I. — Commerce extérieur spécial.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1929, 1928 ET 1913. (Page 8 des documents officiels.)

PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN TONNES MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1929	1928	1913	1929	1928	1913
8	IMPORTATIONS	I. Objets d'alimentation	6 727 758	5 824 913	5 511 932	13 178 103	12 540 524	1 817 579
		II. Matières nécessaires à l'industrie	50 604 400	42 007 118	37 160 735	35 159 792	32 981 735	4 945 732
		III. Objets fabriqués	2 115 037	1 507 376	1 547 719	9 946 729	7 913 293	1 658 021
			59 447 195	49 339 407	44 220 386	58 284 624	53 435 552	8 421 332
8	EXPORTATIONS	I. Objets d'alimentation	1 510 365	1 682 841	1 459 464	6 068 576	6 241 212	880 726
		II. Matières nécessaires à l'industrie	33 018 772	34 150 109	18 301 222	12 564 065	13 070 230	1 868 548
		III. Objets fabriqués	5 359 638	5 292 980	2 313 827	31 439 707	32 063 287	4 130 943
			39 888 775	41 125 930	22 074 513	50 072 348	51 374 729	6 880 217

pour 2 129 millions, les denrées coloniales (café, cacao, thé, etc.) pour 2 008 millions, les fruits de table pour 1 050 millions, les sucres et sirops pour 823 millions. Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux et minerais ont donné lieu à des importations d'une valeur de 3 519 millions de francs, dont plus de 1 737 millions pour le cuivre; les matières textiles entrent dans dans le total pour 12 829 millions, dont 5 156 pour la laine, 4 484 pour le coton et 1 680 pour la soie; le charbon et le coke importés ont coûté 6 946 millions de francs, les huiles et essences minérales 2 657 millions; notons aussi les graines et fruits oléagineux, dont la valeur entre dans le total pour 2 543 millions, les peaux et pelleteries pour 1 160, les bois pour 1 544, le caoutchouc pour 644, les perles et pierres précieuses pour 1 535 millions de francs. Dans

TABLEAU A. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux en ce qui concerne le commerce spécial pour les années 1929 et 1928.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1929 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		SUPÉRIORITÉ EN 1929 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1929 SUR 1928	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs
I. Objets d'alimentation.....	5 217 393	7 109 527	+ 902 845	+ 637 579			— 172 476	— 172 636
II. Matières nécessaires à l'industrie.	17 585 628	22 595 727	+ 8 597 282	+ 2 178 057			— 1 131 337	— 506 165
III. Objets fabriqués..			+ 607 661	+ 2 033 436	3 244 601	21 492 978	+ 66 658	— 623 580
Variation du total des 3 catégories.....	19 558 420	8 212 276	+ 10 107 788	+ 4 849 072			— 1 237 155	— 1 302 381

le groupe des objets fabriqués, les produits chimiques figurent dans la valeur des importations pour 1 224 millions, les produits des industries mécaniques pour 4 157 millions de francs dont 2 233 pour les machines motrices à vapeur et autres.

La valeur des exportations, inférieure de plus de 8 milliards de francs à celle des importations, dépasse

TABLEAU A_1. — *Valeurs, en milliers de francs, des importations et des exportations pendant chacun des douze mois des années 1929 et 1928.*

MOIS	ANNÉE 1929		ANNÉE 1928	
	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS
Janvier ...	5 173 343	3 701 892	4 078 011	4 019 718
Février ...	5 162 237	4 117 941	4 352 501	4 405 669
Mars.....	4 934 124	4 180 206	4 525 062	4 335 670
Avril	5 143 715	4 419 445	4 598 397	4 286 304
Mai	5 061 457	3 958 909	4 015 964	3 992 257
Juin.....	5 165 042	4 349 341	4 616 583	4 199 173
Juillet....	4 627 293	4 269 148	4 083 766	3 954 202
Août	4 339 533	3 804 235	4 181 549	4 150 613
Septembre.	4 353 136	4 221 004	4 219 729	4 208 962
Octobre...	4 515 576	4 385 958	4 720 771	4 437 600
Novembre.	4 789 413	4 267 785	4 731 721	4 593 406
Décembre.	5 019 755	4 396 484	5 311 498	4 791 155
	58 284 624	50 072 348	53 435 552	51 374 729

50 milliards de francs, dont 6 milliards pour les objets d'alimentation, 12,5 milliards pour les matières nécessaires à l'industrie et plus de 31,4 milliards pour les objets fabriqués.

Dans le groupe des objets d'alimentation, la valeur des exportations de vins a été de 1 173 millions de francs, (soit un peu plus de la moitié de celle des importations), celle des exportations de fruits de table

TABLEAU A_2. — *Valeurs, en millions de francs, des importations et des exportations pendant les années 1913 à 1929.*

ANNÉES	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS	BALANCE commerciale	POURCENTAGE des exportations par rapport aux importations
1913.....	8 421	6 880	— 1 541	82
1914.....	6 402	4 869	— 1 533	76
1915.....	11 035	3 937	— 7 098	35
1916.....	20 640	6 214	— 14 426	30
1917.....	27 554	6 012	— 21 542	21
1918.....	22 306	4 722	— 17 584	21
1919.....	35 799	11 879	— 23 920	33
1920.....	49 904	26 894	— 23 010	53
1921.....	22 067	19 772	— 2 295	89
1922.....	23 930	21 378	— 2 552	89
1923.....	32 688	30 432	— 2 256	93
1924.....	39 928	41 468	+ 1 540	103
1925.....	44 095	45 754	+ 1 659	103
1926.....	59 514	59 534	+ 20	100
1927.....	53 049	55 224	+ 2 175	103
1928.....	53 448	51 346	— 2 102	96
1929.....	58 284	50 072	— 8 212	86

de 577 millions, celle des exportations de légumes frais de 238 millions. Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux entrent dans la valeur totale des exportations pour 3 690 millions de francs dont

2 387 millions pour les fers et aciers; les perles et pierres précieuses pour 1 249 millions de francs. Dans le groupe des objets fabriqués nous relevons les valeurs suivantes : 3 451 millions de francs pour les produits chimiques, 6 327 millions pour les produits des industries mécaniques, 10 676 millions pour les fils et tissus, 2 590 millions pour les objets d'habillement, etc.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — En examinant le tableau I on voit que le montant de nos importations pendant l'année 1929 dépasse d'environ 4 849 millions de francs celui relatif à l'année 1928 (soit d'environ 9 pour 100), tandis que le montant de nos exportations est inférieur de 1 302 millions de francs (soit de 2,5 pour 100).

Tableau I bis. — Répartition, suivant les principaux pays, du commerce spécial.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1929 ET 1928 (pages 316 et 317 des documents officiels)

DÉSIGNATION DES PUISSANCES	IMPORTATIONS 1929	IMPORTATIONS 1928	IMPORTATIONS augmentation des importations de 1929 sur 1928	IMPORTATIONS diminution des importations de 1929 sur 1928	EXPORTATIONS 1929	EXPORTATIONS 1928	EXPORTATIONS augmentation des exportations de 1929 sur 1928	EXPORTATIONS diminution des exportations de 1929 sur 1928
	milliers de francs				milliers de francs			
Allemagne	6 620 363	4 958 692	1 661 671		4 732 141	5 680 929		948 788
Brésil	1 072 345	1 161 544		89 199	458 246	562 873		104 627
Canada	843 540	619 870	223 670		586 399	674 853		88 454
Danemark	90 481	85 430	5 051		313 974	298 489	15 485	
Espagne	1 434 490	1 622 357		187 867	1 587 499	1 754 434		166 935
Etats-Unis	7 177 840	6 201 105	976 735		3 322 349	3 337 462		15 113
Grande-Bretagne	5 829 577	5 477 485	352 092		7 566 539	8 165 228		598 689
Grèce	117 205	104 193	13 012		420 712	454 752		34 040
Italie	1 519 812	1 574 651		54 839	2 206 894	2 150 860	56 034	
Japon	268 313	358 423		90 110	236 181	235 278	903	
Norvège	262 926	217 556	45 370		99 215	127 863		28 648
Pays-Bas	1 650 447	1 679 876		29 429	1 254 421	1 300 154		45 733
Pologne	306 017	199 802	106 215		467 657	493 661		26 004
Portugal	212 140	258 210		46 070	258 485	234 391	24 094	
République argentine	2 383 861	2 046 308	337 553		1 066 754	1 146 715		79 961
Roumanie	232 719	184 458	48 261		149 689	164 386		14 697
Serbie-Croatie-Slovénie	132 461	119 605	12 856		102 144	75 794	26 350	
Suède	811 490	648 715	162 775		261 104	280 480		19 376
Suisse	1 073 625	967 243	106 382		3 371 630	3 379 016		7 386
Tchécoslovaquie	244 329	225 609	18 720		232 932	218 530	14 402	
Turquie	173 932	169 580	4 352		346 140	427 583		81 443
Union économique belgo-luxembourgeoise	3 925 466	3 818 722	106 744		7 221 252	7 246 734		25 482
U. R. S. S.	787 019	717 436	69 583		253 901	174 269	79 632	
Egypte (A)	1 022 831	13 276 882	826 777		667 562	4 434 626		318 921
Autres pays étrangers	13 080 828				3 448 143			
TOTAUX des pays étrangers	51 274 057	46 693 752	5 077 819	497 514	40 631 963	43 019 360	216 900	2 604 297
Afrique occid. française	830 010	783 104	46 906		583 224	679 321		96 097
Algérie	2 989 207	2 803 882	185 325		4 500 751	3 944 173	556 578	
Indo-Chine	691 902	710 750		18 848	1 013 610	930 056	83 554	
Madagascar et dépendances	369 707	437 822		68 115	403 300	349 515	53 785	
Maroc	504 292	449 685	54 607		1 291 653	1 124 322	167 331	
Tunisie	704 080	573 187	130 893		1 003 827	776 678	227 149	
Autres colonies et pays de protectorat	921 369	983 370		62 001	644 020	551 304	92 716	
TOTAUX des colonies françaises et pays de protectorat	7 010 567	6 741 800	417 731	148 964	9 440 385	8 355 369	1 181 113	96 097
TOTAUX GÉNÉRAUX	58 284 624	53 435 552	5 495 550	646 478	50 072 348	51 374 729	1 398 013	2 700 394
	AUGMENTATION pour l'année 1929.		4 849 072		DIMINUTION pour l'année 1929.		1 302 381	

(A) Antérieurement au mois de janvier 1929, l'Egypte était confondue dans la *Statistique mensuelle* avec les autres pays étrangers.

Les nombres des quatrième et huitième colonnes de chiffre du tableau A indiquent les variations de chacune des trois rubriques. Ils montrent que la valeur des objets d'alimentation importés a augmenté, d'une année à l'autre, de 637 millions de francs; celle des matières nécessaires à l'industrie de 2 178 millions; celle des objets fabriqués de 2 033 millions de francs. Pour les exportations, nous constatons l'inverse : diminution de 172 millions de francs pour les objets d'alimentation, de 506 millions pour les matières nécessaires à l'industrie, de 623 580 milliers de francs.

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La somme des valeurs des importations et des exportations pour l'année 1929 dépasse 108,3 milliards de francs, supérieure à celle correspondant à 1928 (104,8 milliards) et sensiblement égale à celle de 1927 (107,9 milliards).

Le tableau A_1, qui donne les valeurs des importations et des exportations pendant chacun des mois des années 1928 et 1929, permet de se rendre compte des fluctuations de notre balance commerciale durant ces deux années. D'autre part, le tableau A_2, qui indique les valeurs de nos importations et de nos exportations pendant les années 1913 à 1929, montre que notre balance commerciale, fortement déficitaire de 1915 à 1920, s'était grandement améliorée de 1921 à 1927 et présentait, pour cette dernière année, un solde bénéficiaire de plus de 2 milliards de francs, mais qu'elle est de nouveau devenue déficitaire pour les années 1928 et 1929.

Nous laissons aux économistes le soin de rechercher les causes de ce déficit de notre balance commerciale. Signalons toutefois l'opinion suivante exprimée par la Société d'Etudes et d'Informations économiques à propos du solde déficitaire de la balance commerciale du mois de janvier 1930, qui atteint 1 063 millions de francs :

« Il faut nous résigner à une balance commerciale nettement défavorable. Rares sont les articles qui paraissent susceptibles d'un accroissement considérable à l'exportation. Nous ne pouvons plus, par ailleurs, espérer un stimulant général comparable à celui que représentait, pour nos ventes à l'étranger, la baisse du franc. Enfin, certaines importations augmentent à un rythme inquiétant. Nous ne croyons pas d'ailleurs, pour des raisons bien souvent exposées, qu'il y ait encore péril. A notre avis le danger de la saturation actuelle vient surtout du marasme du marché intérieur et plus particulièrement de la diminution du tourisme étranger ».

Répartition du commerce extérieur suivant les principaux pays. — Cette répartition est donnée en détail dans le tableau I bis.

On voit que, sauf l'Espagne, les Pays-Bas, l'Italie, le Japon, le Portugal et le Brésil, tous les pays étrangers ont contribué à l'augmentation de nos importations, principalement l'Allemagne (1 661 millions), les Etats-Unis (976), la République argentine (337), la Grande-Bretagne (352), le Canada (223), la Suède (162), l'Union belgo-luxembourgeoise (106) et la Suisse (106); à noter aussi que les importations provenant de nos colonies sont en augmentation de 417 millions de francs.

A l'exportation, on relève des augmentations pour le Danemark, l'Italie, la Serbie, la Tchécoslovaquie, le Portugal, le Japon, l'Union des Républiques socialistes soviétiques, etc.; des diminutions pour l'Allemagne, la Grande-Bretagne, la République argentine, le Canada, etc; la diminution est notable pour nos exportations en Allemagne car elle est proche de 949 millions de francs; notons, par contre, une augmentation de 1 181 millions de francs de nos exportations vers nos colonies et pays de protectorat.

Poids des importations en des exportations. — Si nous revenons maintenant au tableau I nous constatons que pendant l'année 1929 le poids de nos importations est voisin de 60 millions de tonnes et celui de nos exportations de 40 millions de tonnes.

La comparaison des nombres relatifs aux années 1929 et 1928 indique que le poids de nos importations a augmenté de 10 millions de tonnes, alors que celui de nos exportations a diminué de 1,2 million de tonnes. La comparaison des nombres de 1929 avec ceux de 1913 montre que nos importations ont augmenté de plus du tiers et que nos exportations ont presque doublé.

Il résulte de l'examen des troisième et septième colonnes de chiffres du tableau A que le poids des importations de chacune des trois grandes catégories a augmenté en 1929 tandis que pour les exportations il y a diminution, sauf toutefois pour les objets fabriqués dont le poids a augmenté de 66 658 t bien que leur valeur ait diminué de 623 millions de francs.

Enfin, en examinant les colonnes 1 et 5 du tableau, on voit que nous importons les objets d'alimentation et les matières nécessaires à l'industrie en quantités plus grandes que nous n'en exportons et que c'est l'inverse pour les objets fabriqués.

II. Importations et exportations de matériel électrique.

Les quantités et les valeurs des importations et exportations de matériel électrique pour les années 1929, 1928 et 1927 sont données dans le tableau II.

Des nombres inscrits dans ce tableau, nous avons péduits ceux du tableau B qui font ressortir, d'une part, les différences entre nos importations et nos exportations de 1929, d'autre part, les augmentations ou diminutions, tant pour les valeurs que pour les poids, des importations et des exportations de 1929 sur celles de 1928. Nous avons conservé dans ces

tableaux les divisions que nous avions adoptées dans les articles concernant les années antérieures avec toutefois quelques légères modifications dont nous avons indiqué les raisons dans l'article consacré aux importations et exportations pendant le premier trimestre de 1929 (1). Comme dans ce dernier article nous avons complété le tableau II par trois autres, les tableaux II bis, II ter et II quarter, qui donnent le détail des importations et des exportations correspondant à trois des divisions du tableau II.

Valeurs des importations et des exportations. — Il résulte du tableau II que la valeur du matériel importé approche de 630 millions de francs. Dans cette somme, le matériel compris sous la rubrique « Appareils électriques et électrotechniques » entre pour 270,4 millions, les machines dynamoélectriques pour 117 millions, les lampes à incandescence pour plus de 100 millions, les fils et câbles pour 74,8 millions, les pièces détachées pour 28,1 millions de francs.

La seconde partie du même tableau montre que la valeur de nos exportations n'a été que de 453,3 millions de francs. Le matériel classé dans la rubrique : « Appareils électriques et électrotechniques » figure dans la valeur totale des exportations pour 147 millions de francs, les machines dynamoélectriques pour 85,6 millions, les fils et câbles pour 65,3 millions, les pièces détachées pour 40,5 millions, les lampes à incandescence pour 31,3 millions, les accumulateurs pour 31,8 millions, les pièces en porcelaine ou en verre pour 20,2 millions, les piles et condensateurs pour près de 5,4 millions de francs.

Tableau B. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principaux articles de matériel électrique pour les années 1929 et 1928.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1929 DES IMPORTATIONS SUR LES EXPORTATIONS		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		SUPÉRIORITÉ EN 1929 DES EXPORTATIONS SUR LES IMPORTATIONS		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1929 SUR 1928	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Machines dynamo-électriques		31 514	29 548	51 101			7 604				19 094	22 562
II. Appareils électro-techniques.		122 987	21 615	97 629			502		640	10 451		
III. Bâtis et carcasses.....			492	277			21	165			22	93
IV. Lampes à incandescence.....	1 595	69 343	1 344	16 958					345	5 949		
V. Lampes à arc.....			0	15			585	1 316	411	850		
VI. Charbons pour usages électriques.			1 771	1 994			7 629	7 860			13 225	8 146
VII. Fils et câbles	15 317	9 462	17 943	21 094					4 085	18 497		
VIII. Pièces détachées.....				5 632	459		16 849	12 440	6 756	9 057		
IX. Aimants...	152	1 193		274	34				63	147		
X. Accumulateurs.....			7 797	4 640			14 969	22 726	9 409	13 310		
XI. Piles.....			552	1 068			5 247	3 264			743	550
XII. Pièces en porcelaine, en verre, etc.			8 046	6 142			33 666	10 564	9 490	5 677		
	17 064	234 499	89 108	206 824	493		87 072	58 335	31 199	63 938	33 084	31 351

Si l'on compare les valeurs de nos importations et de nos exportations de matériel électrique à celle des importations et des exportations de la Grande-Bretagne publiées dans un précédent numéro (1), on constate que nos importations et surtout nos exportations sont notablement inférieures aux importations et exportations britanniques.

En effet, tandis que la valeur de nos importations de matériel électrique n'est que de 629,4 millions de francs, représentant 1,08 pour 100 de la valeur totale de nos importations et 6,3 pour 100 de celle des importations d'objets fabriqués, la valeur des importations

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1 024.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 8 mars 1930, t. XXVII, p. 385-387.

Tableau II. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1929, 1928 ET 1927.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES 1929	1928	1927	VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS 1929	1928	1927
	IMPORTATIONS	I. Machines dynamoélectriques :						
524 A		Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	58 316	27 681		114 173	60 083	
524 B		Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres)	819	1 906	23 659	3 005	5 994	52 847
524²		II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis)	57 751	36 136	13 233	270 398	172 769	81 088
533⁸		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs	503	11	80	320	43	108
361		IV. Lampes à incandescence, lampes, valves, etc (voir tableau II ter)	8 693	7 349	2 912	100 706	83 748	39 014
536²		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	28	28	15	193	178	165
302		VI. Charbons pour usages électriques :						
		Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite	14 975	13 540(1)	7 168(1)	10 369	12 472(1)	6 266(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais	336			4 097		
535³		VII. Fils et câbles pour l'électricité :						
		Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun	70 773	16 052	19 234	67 487	14 101	22 557
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail	1 520	38 441		6 003	38 943	
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles	224	81		1 301	653	
536		VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater)	6 826	7 285	4 283	28 136	22 504	20 607
536³		IX. Aimants (à l'exclusion des électroaimants)	273	307	77	1 438	1 164	924
576³		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	13 259	5 462	2 398	9 149	4 509	2 338
		XI. Piles et condensateurs :						
576⁴		Piles sèches	403	316		576	405	
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries)	9	15	176	6	35	392
		Parties et pièces détachées	205	31		285	56	
576⁵		Condensateurs et pièces détachées	673	376		2 266	1 569	
347²		XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	4 488	2 054	1 654	3 762	1 977	1 572
		Avec parties ou garnitures de métal	6 570	958		5 805	1 448	
			246 644	158 029	74 889	629 475	422 651	227 878

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

britanniques atteint 8 399 929 livres, soit environ 1 049 millions de francs, représentant 0,68 pour 100 de la valeur totale des importations et 30 pour 100 de celle des importations d'objets fabriqués.

Tableau II *(suite)* — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1929, 1928 ET 1927.

	NUMÉROS DU TARIF	DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1929	1928	1927	1929	1928	1927
EXPORTATIONS		I. Machines dynamoélectriques :						
	524 A	Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	64 287	82 360		81 305	101 231	
	524 B	Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres)	2 452	3 473	72 540	4 359	6 995	86 898
	524²	II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis)	58 253	57 613	60 175	147 411	136 960	140 865
	533⁸	III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs	524	546	244	485	578	181
	361	IV. Lampes à incandescence, lampes, valves, etc (voir tableau II ter)	7 098	6 753	5 660	31 363	25 414	24 920
	536²	V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	613	202	75	1 509	659	265
	302	VI. Charbons pour usages électriques :						
		Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite	17 101	36 165(1)	34 528(1)	8 470	30 472(1)	26 713(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais	5 839			13 856		
	535³	VII. Fils et câbles pour l'électricité :						
		Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun	50 240	47 855	33 766	58 068	41 798	31 414
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail	6 899	5 248		7 118	5 010	
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles	61	12		143	24	
	536	VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater)	23 675	16 919	11 935	40 576	31 519	23 297
	536³	IX. Aimants (à l'exclusion des électro-aimants)	121	58	183	245	98	418
	576³	X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	28 228	18 819	19 052	31 875	18 565	20 919
		XI. Piles et condensateurs						
	576⁴	Piles sèches	5 203	6 572	5 352	5 055	6 056	4 524
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries)	209	136		166	119	
		Parties et pièces détachées	1 034	393		764	346	
	576⁵	Condensateurs et pièces détachées	91	179		412	426	
	347²	XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	39 468	30 815	31 233	16 215	11 317	14 527
		Avec parties ou garnitures de métal	5 256	4 419		3 916	3 137	
			316 652	318 537	274 743	453 311	420 724	374 941

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

D'autre part, la valeur de nos exportations de matériel électrique n'atteint que 453,3 millions de francs, représentant 0,9 pour 100 de la valeur totale de nos exportations et 1,4 pour 100 de celle des exportations

Tableau II bis. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1929	1928	1927	1929	1928	1927
524 bis A	IMPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce :						
		Magnétos donnant 2 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de 6 cylindres et moins	3 935	967	130	21 855	6 852	1 009
		Magnétos donnant 4 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de plus de 6 cylindres	295	213	60	2 348	1 929	472
		Magnétos à allumage jumelé et magnétos à double allumage	4	4	29	31	52	82
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique :						
		Appareils non automatiques	9 902	5 184	1 054	32 960	18 114	3 384
		Appareils automatiques importés à l'état complet	6 653	4 160	402	29 022	17 165	1 925
		Dispositifs automatiques importés séparément	80			503		
		Appareils de régularisation automatique de courant	232			2 463		
		Valves, tubes ou lampes à vapeur ou effluves pour les appareils ci-dessus :		201	71		1 291	680
		Avec récipients en verre ou transparents	8			571		
		Avec récipients métalliques	4			14		
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	1 110	520	67	2 905	1 457	296
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	1 397	723	116	3 524	1 750	252
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	9 454	7 985	181	56 945	38 300	1 409
524 bis F		Appareil de télégraphie automatique ou rapide :						
		Montés sur table	23	21	1	691	525	1
		Sans table ni pied	16	1	6	652	111	195
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes importées isolément	12 299	4 920	877	50 155	21 017	5 989
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	279	727	23	1 692	2 749	167
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs	846	574	123	9 379	5 712	1 052
524 bis I		Transformateurs afférents aux appareils ci-dessus	250	600		625	427	
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	1 204	851	104	6 172	4 119	520
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	2 579	1 499	76	7 315	4 545	339
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	15	6	4	103	43	42
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	23	10	1	148	72	22
524 bis L		Fers à repasser électriques	231	77	21	271	103	37
523 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à usage domestique et petit outillage électromécanique :						
		Aspirateurs de poussière, machines à cirer ou à encaustiquer, machines à cirer les chaussures	1 443			8 395		
		Machines frigorifiques domestiques, machines à récurer, machines à pétrir (pétrins à pâte, etc.)	527	3 047	165	1 808	22 951	1 088
		Perceuses, polisseuses, petites pompes, etc., machines à bois et appareils similaires	619			8 828		
524 bis N		Ventilateurs d'habitation	867			2 639		
		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents :						
		Contenant des enroulements de fils métalliques isolés	2 789	2 392	6 222	14 788	10 631	35 414
		Ne contenant pas d'enroulements de fils métalliques isolés	667	1 454	3 500	3 596	12 854	26 713
			57 751	36 136	13 233	270 398	172 769	81 088

Tableau II bis *(suite)*. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1929	1928	1927	1929	1928	1927
524 bis A	EXPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce	296	469		1 061	1 441	
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique	7 369	6 600		10 455	9 077	
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	276	209		357	307	
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	1 141	4 094		1 626	5 528	
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	2 025	2 050		9 059	6 885	
524 bis F		Appareils de télégraphie automatique ou rapide	204	306		1 994	1 911	
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes importées isolément	8 069	6 705		40 511	31 897	
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	165	68	7 335	621	176	33 092
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs et transformateurs afférents à ces appareils	549	351		3 782	2 603	
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	2 115	1 842		6 877	6 222	
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	2 550	1 539		4 009	2 186	
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	2			8		
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	26	9		16	17	
524 bis L		Fers à repasser électriques	375	246		523	354	
524 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à l'usage domestique et petit outillage électromécanique	5 272	3 179		10 590	6 986	
524 bis N		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents	27 819	29 946	52 840	55 922	61 370	107 773
			58 253	57 613	60 175	147 411	136 960	140 865

d'objets fabriqués; la valeur des exportations britanniques s'élève à 19 534 706 livres, soit environ 2 441 millions de francs, représentant 2,7 pour 100 de la valeur totale des exportations de la Grande-Bretagne et 33 pour 100 de celle des exportations d'objets fabriqués.

Le commerce extérieur de l'industrie électrique britannique entre donc dans l'ensemble des importations et exportations d'objets fabriqués pour une part beaucoup plus importante que le commerce extérieur de l'industrie électrique française dans les importations et exportations d'objets fabriqués. En outre, la balance du commerce extérieur de l'industrie électrique britannique accuse un solde bénéficiaire de 1 392 millions de francs, tandis que celle de l'industrie électrique française présente un solde déficitaire de 176 millions de francs.

Il résulte encore des chiffres précédents que la valeur des exportations britanniques est 5,6 fois plus grande que celle des exportations françaises. Il serait intéressant de déterminer la nature des machines et objets dont l'exportation donne lieu à une différence aussi importante. Malheureusement, tant que l'unification des nomenclatures douanières, sujet que la Société des Nations a mis à l'ordre du jour de ses travaux, ne sera pas réalisée, il est impossible de faire cette détermination avec quelque précision. Toutefois il semble résulter de la comparaison des nombres donnés dans les divers tableaux de cet article et de ceux reproduits dans le tableau I de la page 385 du numéro du 8 mars 1930, que l'activité de l'exportation de l'industrie électrique britannique se manifeste principalement pour les fils et câbles, les machines dynamoélectriques et transformateurs, les appareils télégraphiques et téléphoniques, les piles et accumulateurs. Ces nombres montrent, en effet, que la valeur des exportations des fils et câbles atteint 4 955 892 livres, soit 619 millions de francs, alors que celle de nos exportations n'est que 63 millions ; que la valeur des exportations de machines dynamoélectriques s'élève à 6 357 416 livres, soit 794 millions de francs, contre 85 millions pour les exportations françaises ; que la valeur des exportations d'appareils télégraphiques et téléphoniques est de 2 842 424 livres, soit 355 millions de francs, tandis

que celle des exportations françaises n'est, d'après le tableau II bis, que d'environ 100 millions ; que pour les piles et accumulateurs les exportations britanniques s'élèvent à 1 004 627 livres, soit 125 millions de francs, et les exportations françaises de 25 millions ; enfin que l'industrie britannique a exporté pour 662530 livres, soit 83 millions de francs, de lampes à incandescence, alors que l'industrie française n'en a exporté que pour 23 millions.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Le tableau II nous montre que la valeur de nos importations est passée de 422,6 millions de francs en 1928 à 629,4 millions en

Tableau II ter. — Lampes électriques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES 1929	1928	1927	VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS 1929	1928	1927
361	IMPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	1 216			2 044		
		Lampes à filaments dans le vide :						
		à filaments de carbone	60			741		
		à filaments métalliques pesant par unité : moins de 5 g	187			4 346		
		à filaments métalliques pesant par unité : de 5 à 15 g	192			3 340		
		à filaments métalliques pesant par unité : 15 g et plus, munies de leur monture.	2 135			21 625		
		à filaments métalliques pesant par unité : 15 g et plus, non munies de leur monture	48	6 160	2 696	598	59 953	35 720
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur : munies de leur monture.....	2 968			31 959		
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur : non munies de leur monture.	4			90		
361 bis		Autres appareils électriques (lampes, valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.....	1 643	1 064	216	30 324	21 212	3 294
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents : à récipient en verre ou transparent.....	236	63		5 622	1 657	
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents : à récipient métallique.....	4	62		17	926	
			8 693	7 349	2 912	100 706	83 748	39 014
361	EXPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	176			638		
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments de carbone.....	306			1 070		
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments métalliques.....	5 619	6 753	5 660	21 143	25 414	24 920
		Lampes à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur	109			599		
361 bis		Autres appareils électriques (lampes, valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.	873			7 794		
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents.	15			119		
			7 098	6 753	5 660	31 363	25 414	24 920

1930, augmentant de 206,8 millions, soit d'environ 50 pour 100 ; pour le premier semestre l'augmentation avait atteint 71 pour 100. La quatrième colonne de chiffres du tableau B indique que dans cette augmentation les appareils électriques et électrotechniques entrent pour 97,6 millions de francs, les machines dynamoélectriques pour 51,1 millions, les fils et câbles pour 21 millions, les lampes à incandescence pour près de 17 millions de francs.

Cette augmentation est, comme nous l'avons déjà fait remarquer, en grande partie imputable à l'extension de nos achats en Allemagne au titre des prestations en nature.

Pour les exportations nous constatons que leur valeur est passée de 420,7 millions de francs en 1928 à 453,3 millions en 1929 ; il y a donc eu augmentation de 32,6 millions, soit de 8 pour 100. Si l'on se reporte aux dixième et douzième colonnes du tableau B, on voit que les variations ont été importantes pour la plupart des rubriques : diminution de 22,5 millions de francs pour les machines dynamoélectriques, de 8,1 millions pour les charbons pour usages élec-

triques (1) ; par contre, augmentation de 18,5 millions pour les fils et câbles, de 13,3 millions pour les accumulateurs, de 9 millions pour les pièces détachées, de près de 6 millions pour les lampes à incandescence, plus de 5,6 millions de francs pour les pièces en porcelaine et en verre. Mais, comme nous l'avons fait observer dans nos derniers articles, ces variations importantes tiennent probablement plus à la classification nouvelle des marchandises exportées qu'à une modification dans la nature de nos exportations.

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos exportations de matériel électrique pendant l'année 1929 dépasse 1082 millions de francs.

Tableau II quater. — Pièces détachées se rapportant à l'électricité.

Numéros du tarif		Désignation	Quantités exprimées en quintaux métriques			Valeurs exprimées en milliers de francs		
			1929	1928	1927	1929	1928	1927
536	Importations	Pièces d'appareils d'allumage pour moteurs à explosion de toute espèce (magnétos et autres) :						
		Rupteurs et parties de rupteurs	8	1		423	84	
		Porte-charbons et parties de ces objets	43			225		
		Distributeurs, bagues collectrices et partie de ces objets	315	266		1 672	763	
		Noyaux bobinés, et leurs pièces ou parties	168			911		
		Condensateurs, armatures complètes et leurs pièces ou parties	47	154		550	691	
		Organes d'accouplement pour magnétos et autres appareils d'allumage	242	152	4 283	611	570	20 607
		Autres pièces	241	305		896	777	
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	325	234		2 518	1 912	
		Electro aimants pesant 10 kg et moins par unité	25	16		146	167	
		Pièces détachées (travaillées pour machines électriques, transformateurs, appareillages) de plus de 200 kg.	1 203	6 157		2 810	17 540	
		200 kg et moins	4 209			17 374		
			6 826	7 285	4 283	28 136	22 504	20 607
536	Exportations	Pièces d'appareils d'allumage et de dynamos pour l'équipement des véhicules automobiles	545	579		1 431	1 009	
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	407	318		1 613	690	
		Electroaimants pesant 10 kg et moins par unité	94	13	11 935	145	22	20 607
		Pièces détachées (travaillées) pour machines électriques, transformateurs, appareillages, telles que : inducteurs, induits, bobinages, parties de rhéostats, de démarreurs, etc	22 629	16 009		37 387	29 798	
			23 675	16 919	11 935	40 576	31 519	20 607

(1) Rappelons à ce propos que jusqu'à décembre 1928 les charbons autres que ceux utilisés en électricité se trouvaient englobés sous la même rubrique que ces derniers. Le nombre indiqué pour la valeur des exportations des charbons en 1928 comprend dès lors les charbons autres que ceux qui intéressent les électriciens et la comparaison des valeurs des exportations de 1929 et 1928 ne peut donc être faite que si, à la valeur indiquée pour 1929, on ajoute la valeur des charbons compris sous la rubrique « charbons autres » de la nomenclature douanière. Cette dernière valeur étant de 12,2 millions de francs, et celle des charbons pour usages électriques de 22,3 millions, les nombres à comparer sont 34,5 millions pour 1929 et 30,4 millions pour 1928 ; il y a donc eu, en réalité, augmentation et non diminution des exportations.

La balance commerciale accuse un déficit de plus de 176 millions de francs, alors qu'elle ne présentait qu'un déficit de moins de 2 millions pour 1928 et qu'elle se soldait par un bénéfice de 137 millions pour 1927. Notons en particulier, que nos échanges concernant les accumulateurs se soldent par un excédent de valeur de 22,7 millions de francs en notre faveur et ceux de pièces détachées, de pièces en porcelaine et verre, de piles, par des excédents de 12,4 millions, 10,5 millions et 3,2 millions de francs. Le déficit est surtout attribuable à nos achats d'appareils électriques et électrotechniques, de lampes à incandescence, de machines dynamoélectriques et de fils et câbles, les excédents des valeurs des importations sur celles des exportations pour ces diverses rubriques étant respective-

ment de 122,9, de 69,3, de 31,5 et de 9,4 millions de francs.

Poids des importations et des exportations. — La première colonne de chiffres du tableau II montre que le poids total des importations s'est élevé à 246644 quintaux. Dans cet ensemble, les fils et câbles entrent pour 72293 quintaux ; puis viennent les machines dynamo-électriques pour 59135 quintaux, les appareils électriques et électrotechniques pour 57751 quintaux.

Le poids des exportations est de 316652 quintaux. Si l'on classe les rubriques d'après les poids qui leur correspondent, les machines dynamoélectriques se placent au premier rang avec 66 739 quintaux et les appareils électriques et électrotechniques au deuxième, avec 58253 quintaux ; viennent ensuite les fils et câbles avec 57200 quintaux, les pièces en porcelaine ou en verre, avec 44 724 quintaux, les accumulateurs avec 28228 quintaux et les pièces détachées, avec 23675 quintaux.

Il résulte du tableau B que, en poids, nos exportations sont supérieures à nos importations pour neuf des douze rubriques ; il n'y a infériorité marquée que pour les fils et câbles, infériorité qui est de 15317 quintaux.

Variations des poids des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Si l'on se reporte à la troisième colonne de chiffres du tableau B, on voit que les poids des importations de 1929 ont surpassé ceux de 1928 pour toutes les rubriques sauf pour les pièces détachées et les aimants. La neuvième colonne montre que les poids de nos exportations se sont aussi accrus pour neuf des rubriques et qu'ils n'ont diminué que pour les machines dynamoélectriques, les bâtis et carcasses et les piles.

III. Importations et exportations des produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Les poids et les valeurs des produits importés et des produits exportés pendant l'année 1929 et les deux années précédentes sont donnés dans le tableau III ; le tableau C indique, tant pour les valeurs que pour les quantités, d'une part, les différences que présentent nos exportations et nos importations de 1929, d'autre part, les augmentations ou diminutions des poids et valeurs des produits importés ou exportés en 1929 sur celles des produits importés ou exportés en 1928.

Valeurs des importations et des exportations. — D'après le tableau III, la valeur des importations est de près de 80 millions de francs ; le nitrate de calcium entre dans le total pour 22,4 millions de francs, les ferro-alliages pour 38,7 millions et la cyanamide calcique pour 11,7 millions de francs.

Pour les exportations, la valeur de l'ensemble des produits atteint 122,5 millions de francs, supérieure de 43,4 millions à celle des importations. Parmi les produits exportés, l'aluminium se trouve en tête pour une valeur dépassant 54,5 millions de francs ; vient ensuite le carbure de calcium pour 34 millions, puis les ferro-alliages pour 22,4 millions de francs.

Variations des valeurs des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Le tableau III montre que la valeur de nos importations de 1929 est inférieure de 7,5 millions de francs à celle des importations de 1928.

La valeur des exportations présente une diminution de 13,4 millicns de francs. D'après la dernière colonne du tableau C cette diminution est attribuable à la diminution de nos exportations d'aluminium, laquelle a atteint 10,4 millions de francs. Il convient de faire observer qu'à la fin du premier semestre de 1929 la diminution de la valeur de nos exportations de produits électrométallurgiques et électrochimiques atteignait 30 millions de francs et celle de nos exportations d'aluminium, 34,8 millions. Il y a donc eu progression sensible de nos exportations pendant le second semestre de 1929.

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos exportations n'atteint que 201,6 millions de francs, alors qu'elle était de 222,6 millions pour 1928 et de 247,9 millions pour la période correspondante de 1927.

La balance commerciale accuse un solde bénéficiaire de 43,4 millions de francs, alors qu'à la fin du premier semestre de cette année le solde bénéficiaire n'était que de 3,5 millions et qu'à la fin du premier trimestre on constatait un solde déficitaire de 2,5 millions. L'amélioration résultant de nos échanges pendant le second semestre est donc importante.

Poids des importations et des exportations. — La première colonne du tableau III indique que le poids total des produits importés s'est élevé à 496181 quintaux, dont 204842 quintaux pour les importations de nitrate de calcium (103237 venant d'Allemagne, 101571 de la Norvège, 31 de l'Union belgo-luxembourgeoise, 3 des autres pays) et 126630 quintaux pour celles de cyanamide calcique (92283 venant de Suisse, 34347 des autres pays).

Le poids des exportations est de 455017 quintaux dont 256980 quintaux pour les exportations de carbure de calcium, soit près de deux tiers du total, 102791 pour celles de ferro-alliages et 42311 pour celles d'aluminium. Ajoutons que nous avons exporté 240413 tonnes de bauxite d'une valeur de 18788000 fr.

Il résulte des nombres des première et septième colonnes du tableau C que nous importons plus de

nitrate de calcium et de cyanamide calcique que nous n'en exportons, tandis que nos exportations d'aluminium, de ferrosilicium et de carbure de calcium dépassent notablement nos importations.

Tableau III. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES NEUF PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1929, 1928 ET 1927.

NUMÉRO DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1929	1928	1927	1929	1928	1927
203	IMPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	2 462	1 529	3 901	2 389	1 384	
		laminé, forgé ou fondu	1 157	568		2 508	1 513	
		battu en feuilles	70	54		372	339	
		en poudre, en paillettes impalpables	574	446	479	1 241	966	1 553
		en fils	9	1		20	4	
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	110 949	158 086	265 119	18 148	25 884	44 645
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	2 791	712	—	978	275	—
		ferro-silicium	20 734	5 599	7 618	4 704	1 306	1 393
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	7 325			990		
		ferro-chrome	15 464			6 020		
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	1 258	22 513	10 933	1 506	14 067	6 025
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	600			3 249		
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages	165			2 776		
0 33		III. Carbure de calcium	1 128	4 822	28 917	131	424	2 437
0 380		IV. Nitrate de calcium	204 842	262 408	261 513	22 394	31 176	33 938
0 380		V. Cyanamide calcique	126 653	94 963	99 021	11 709	9 357	10 234
			496 181	551 701	677 501	79 135	86 695	100 225
		Exportation des produits fabriqués en France ou francisés après transformation						
203	EXPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	21 895	30 797	67 469	25 194	35 658	63 502
		laminé, forgé ou fondu	17 231	18 982		24 389	29 404	
		battu en feuilles	2 081	4 284	14 901	3 405	6 931	20 513
		en poudre, en paillettes impalpables	464	574		677	666	
		en fils	640	1 320		864	1 855	
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	31 676	11 311	11 924	6 237	3 198	4 772
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	1 397	—	—	388	—	—
		ferro-silicium	57 213	78 359	45 355	9 811	12 916	7 605
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	3 861			767		
		ferro-chrome	2 934			1 267		
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	5 549	13 193	16 421	9 180	10 805	11 204
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	151			734		
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages	10			17		
0 33		III. Carbure de calcium	256 980	225 027	286 181	34 071	30 105	37 234
0 380		IV. Nitrate de calcium	26 986	13 227	9 494	2 983	1 662	1 416
0 380		V. Cyanamide calcique	25 949	28 848	15 265	2 562	2 706	1 514
			455 017	425 922	467 010	122 546	135 906	147 760

VARIATION DES POIDS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Le tableau III indique que le poids des importations a diminué de 55 520 quintaux tandis que celui des exportations a augmenté de 29 095 quintaux.

En se reportant aux troisième et cinquième colonnes du tableau C, on voit que le poids de nos importations a cependant augmenté de 52 877 quintaux de 1928 à 1929 pour quelques produits dont la cyanamide calcique, alors qu'il a diminué de 108 397 quin-

TABLEAU C. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour les années 1929 et 1928.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1929 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		SUPÉRIORITÉ EN 1929 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1929 SUR 1928		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1929 SUR 1928	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Aluminium :												
a) en lingots...			933	1 005			19 433	22 805			8 902	10 464
b) demi-ouvré..			741	1 319			18 606	25 194			4 744	9 521
II. Ferro-alliages:												
a) Ferro-manganèse.....	79 273	11 911			47 137	7 736			20 365	3 039		
b) Ferro-silicium			15 135	3 398			36 479	5 107			21 146	3 105
c) Autres ferro-alliages.....	13 701	3 166	4 378	1 177					709	1 548		
III. Carbure de calcium.....					3 694	-	255 852	33 940	31 953	3 966		
IV. Nitrate de calcium.....	177 856	19 411			57 566	293			13 759	1 321		
V. Cyanamide calcique....	100 704	9 147	31 690	2 352		8 782					2 899	144
	371 534	43 635	52 877	9 251	108 397	16 811	330 370	87 046	66 786	9 874	37 691	23 234

taux pour d'autres produits, notamment pour le nitrate de calcium et le ferro-manganèse. Les neuvième et onzième colonnes montrent que le poids de nos exportations a augmenté pour le carbure de calcium, le nitrate de calcium et quelques ferro-alliages, mais a diminué pour l'aluminium, le ferro-silicium et la cyanamide calcique.

J. REYVAL.

Annexe : Les importations de matériel électrique et de produits électrométallurgiques et électrochimiques au titre des prestations en nature

La liste des livraisons allemandes faites en 1929 au titre des prestations en nature, liste que publie « L'Usine » dans son numéro du 14 mars 1930, nous fournit les renseignements contenus dans les deux tableaux ci-dessous concernant les importations de matériel électrique et celles de quelques produits électrométallurgiques et électrochimiques.

TABLEAU I. — *Importations du matériel électrique au titre des prestations en nature.*

	QUINTAUX	MILLIERS DE FRANCS
I. Machines dynamoélectriques et transformateurs	24 198	34 639
II. Magnétos donnant 2 et 4 étincelles par tour	141	1 009
Appareils de téléphonie.....	4 572	30 477
Appareils de mesure électriques (sauf les compteurs).....	209	976
Matériel de chauffage électrique.	262	477
Appareils avec enroulements en fils isolés	328	1 088
Appareils sans enroulements en fils isolés.....	86	395
VII. Fils et câbles pour l'électricité sous enveloppes	98	154
Fils et câbles recouverts de plomb.	46 654	32 957

Le premier de ces tableaux montre que la valeur des importations de matériel électrique au titre des prestations en nature dépasse 102 millions de francs, dont 34,6 millions pour les machines dynamoélectriques et les transformateurs, près de 33 millions pour les fils et câbles sous plomb et 30,4 millions pour les appareils téléphoniques.

TABLEAU II. — *Importations de produits électrométallurgiques et électrochimiques au titre des prestations en nature.*

	QUINTAUX	MILLIERS DE FRANCS
I. Aluminium laminé, forgé, fondu, en poudre ou en paillettes.....	141	402
Câbles et fils non isolés en aluminium	21 240	24 514
II. Ferromanganèse.....	18 042	2 774
IV. Nitrate de calcium	91 016	11 461

D'après le deuxième tableau la valeur des importa-

tions d'aluminium semi-ouvré ou ouvré s'élève à près de 25 millions de francs et celle des importations de nitrate de calcium à 11,4 millions de francs.

Ajoutons que la valeur des machines motrices importées au titre des prestations, et dont une partie tout au moins est certainement utilisée à la production de l'énergie électrique, dépasse 26 millions de francs, dont 4,4 millions pour les machines à vapeur à piston, 3,2 millions pour les turbines à vapeur, 5 millions pour les moteurs à gaz, 8,2 millions pour les moteurs Diesel, 1,3 million pour les moteurs à combustion interne autres que les précédents et 4,1 millions de francs pour les machines hydrauliques.

J. R.

Le mouvement des salaires en France en 1929

Le service de la Statistique générale de la France a procédé, comme les années précédentes, auprès des conseils de prud'hommes ou, à défaut, auprès des maires des chefs-lieux de départements, à une enquête sur les salaires à la fin de l'année 1929. Les résultats de cette enquête viennent d'être publiés dans le numéro de janvier-mars 1930 du « Bulletin de la Statistique générale de la France ».

Bien que les données recueillies soient très imprécises et très incomplètes, surtout pour Paris, comme elles sont rassemblées dans les mêmes conditions à chaque enquête, elles fournissent une indication approximative sur le mouvement général des salaires. Aussi, nous paraît-il intéressant de résumer ici les résultats de la dernière enquête, résultats qui montrent qu'il s'est produit au cours de l'année 1929 un mouvement général de hausse des salaires.

1. Les taux et les indices des salaires. — En dehors de Paris, des moyennes générales et des indices ont été calculés à l'aide des données fournies pour 38 professions masculines et 7 professions féminines. Pour la région parisienne, les renseignements recueillis, qui sont très incomplets comme il vient d'être dit, ne concernent que 22 professions masculines. Les deux tableaux suivants résument le mouvement des salaires de 1911 à 1921 en province et dans la région parisienne

Pour l'ensemble des villes autres que Paris, on constate

Tableau I. — *Salaires en province.*

	38 professions masculines				7 professions féminines			
	par heure		par jour		par heure		par jour	
	taux nominal francs	indice 1911 100	taux nominal francs	indice 1911 100	taux nominal francs	indice 1911 100	taux nominal francs	indice 1911 100
1911.....	0,46	100	4,61	100	0,23	100	2,29	100
Février 1921.....	2,31	502	18,92	410	1,17	509	9,44	412
Octobre 1924.....	2,62	570	22,00	477	1,38	600	11,36	496
Id. 1925.....	2,79	607	23,25	504	1,51	656	12,14	535
Id. 1926.....	3,22	700	26,93	584	1,86	809	15,29	668
Id. 1927.....	3,31	720	27,34	593	1,81	787	14,84	648
Id. 1928.....	3,45	750	28,44	616	1,97	856	16,06	701
Id. 1929.....	3,83	832	31,34	685	2,26	969	18,30	800

que, par rapport à 1911, les salaires journaliers des hommes étaient multipliés en octobre 1928 par le coefficient 6,19 et en octobre 1929 par le coefficient 6,85. Les salaires horaires étaient multipliés en octobre 1928 par le coefficient 7,5 et en octobre 1929 par le coefficient 8,32.

Les salaires féminins avaient augmenté encore davantage. Par rapport à 1911, les salaires journaliers des femmes étaient multipliés en octobre 1928 par le coefficient 7,01 et en octobre 1929 par le coefficient 8. Les salaires horaires étaient multipliés en 1928 par le coefficient 8,56 et en 1929 par le coefficient 9,69.

D'octobre 1928 à octobre 1929, l'augmentation moyenne a été de 9,7 pour 100 pour les salaires journaliers des hommes et de 13,9 pour 100 pour les salaires des femmes.

L'année précédente, d'octobre 1927 à octobre 1928, l'augmentation avait été de 4,5 pour 100 pour les hommes et de 8 pour 100 pour les femmes.

Dans toutes les professions masculines, le coefficient 6

Tableau II. — *Salaires dans la région parisienne*

	professions masculines			
	par heure		par jour	
	taux nominal francs	indice 1911 100	taux nominal francs	indice 1911 100
1911 (19 prof.)...	0,875	100	8,12	100
Oct. 1925 (21 prof.)	4,15		33,35	
Octobre 1926....	5,10		41,45	
Octobre 1927....	5,12	585	41,70	513
Octobre 1928....	5,25	600	42,75	526
Oct. 1929 (32 prof.)	6,11	720	49,65	624

était dépassé. Les salaires qui avaient le plus augmenté par rapport à 1911, étaient ceux des manœuvres et journaliers, avec l'indice de salaire journalier 760, des tisserands (indice 760), des terrassiers et des carriers (indice 757), des cordiers (indice 747), des briquetiers (indice 745). Ceux qui avaient le moins augmenté étaient ceux des sculpteurs ornemanistes (indice 615) et des tourneurs en métaux (indice 615).

Dans toutes les professions, féminines le coefficient 7 était dépassé. L'indice des salaires journaliers arrivait à 860 pour les dentellières, à 859 pour les repasseuses, à 841 pour les lingères.

Toujours en laissant de côté Paris, la moyenne générale des salaires journaliers des hommes est passée de 28,44 fr en octobre 1928 à 31,34 fr en octobre 1929. La moyenne des salaires horaires est passée de 3,45 fr en 1928 à 3,83 fr en 1929.

Pour la plupart des professions la moyenne des salaires journaliers dépassait 30 fr en 1929 et était comprise entre 30 et 35 fr. Elle s'élevait à 39,31 fr pour les sculpteurs-ornemanistes. Elle s'abaissait à 24,79 pour les manœuvres et journaliers.

Dans les professions féminines, la moyenne des salaires journaliers est passée de 16,06 fr en 1928 à 18,30 fr en 1929. La moyenne des salaires horaires est passée de 1,97 fr en 1928 à 2,26 fr en 1929.

La moyenne des salaires journaliers était comprise entre 18 et 19 fr pour toutes les professions féminines, sauf pour les lingères dont le salaire moyen était de 17,50 fr.

Pour la région parisienne, les salaires journaliers, par rapport à 1911, étaient multipliés en octobre 1928 par le coefficient 5,26 et en octobre 1929 par le coefficient 6,24; les salaires horaires par le coefficient 6 en octobre 1928 et par le coefficient 7,2 en octobre 1929.

D'octobre 1928 à octobre 1929, la hausse des salaires journaliers dans la région parisienne a été de 16,4 pour 100.

La moyenne des salaires journaliers est passée de 42,75 fr en octobre 1928 à 49,65 fr en octobre 1929, la moyenne des salaires horaires de 5,25 fr à 6,11 fr. Dans toutes les professions la moyenne des salaires journaliers était supérieure à 40 fr en octobre 1929.

2. Salaires suivant les régions. — Dans la grande majorité des départements, la hausse a été sensible en 1929. Pour les deux tiers des départements, la moyenne des salaires journaliers des hommes était comprise entre 30 et 40 fr en octobre 1929.

Elle était particulièrement basse, dans le Tarn-et-Garonne, où elle était de 24,65 fr en 1929 et de 20,60 fr en 1928 et dans l'Ariège, où elle est passée de 20,95 à 24,95 fr.

Elle dépassait 40 fr dans les Alpes-Maritimes (42,80), le Nord (40,35), le Rhône (46,70), la Seine-et-Oise (41,30).

3. Comparaison du mouvement des salaires avec celui du cout de la vie. — Il est impossible de connaître exactement le rapport entre le mouvement des salaires et celui du coût de la vie. Il n'y a pas pour l'ensemble de la France d'indice précis du coût de la vie.

La Statistique générale se sert de l'index des prix de détail de treize denrées de première nécessité (en province) mais cet index ne concerne l'alimentation seulement d'une manière limitée et qui ne répond plus aux conditions actuelles de vie.

Elle emploie, d'autre part, un index des prix de pension pour ouvriers célibataires à l'hôtel (en province). Mais ces prix de pensions reflètent plus directement le mouvement même des salaires que celui du coût moyen de la vie. On pourrait même dire que l'indice des prix de pension est un indice assez exact des salaires.

Enfin, les différences locales n'apparaissent pas dans ces indices. On ne peut donc considérer que comme très grossière la comparaison que permettent les nombres du tableau III

Tableau III. — *Salaires, prix de pension et indices du prix de détail en province.*

	Valeur nominale en province				Indices sur la base 1911 = 100			
	1926	1927	1928	1929	1926	1927	1928	1929
Salaires journaliers :								
Hommes	26,93	27,34	31,34	31,34	584	593	616	685
Femmes	15,29	14,84	16,06	18,30	668	648	701	800
Prix mensuel de pension (célibataires).	420	440	445	520	600	628	650	744
Indice des prix de détail	6 472	5 260	5 620	5 931	638	519	554	584

A Paris, alors que l'indice des salaires journaliers était de 624, l'indice de la Commission du coût de la vie pour le 4e trimestre 1929 était de 565.

On peut donc dire que dans l'ensemble la hausse des salaires par rapport à l'avant-guerre était supérieure à celle du coût de la vie.

4. Salaires dans quelques industries particulières. — Dans ce chapitre, la Statistique générale de la France donne d'une part le salaire journalier moyen et l'indice de salaire des ouvriers mineurs d'après la comptabilité des sociétés, d'autre part, l'indice de salaire des ouvriers électriciens d'après les tableaux publiés chaque mois dans la « Revue générale de l'Electricité » par le Syndicat des Entrepreneurs de Réseaux et de Centrales électriques.

Pour les ouvriers mineurs, l'indice est passé d'octobre 1928 à 1929, de 613 à 626 pour les ouvriers du fond, de 671 à 685 pour ceux du jour et de 621 à 637 pour l'ensemble, l'indice de l'année étant pris égal à 100. Pour les ouvriers électriciens, l'indice est passé, pendant la même période, de 163 à 180, l'indice 100 se rapportant à janvier 1923.

SECTION DE LÉGISLATION

Les transformateurs d'énergie électrique et la contribution foncière

(Arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier, du 27 novembre 1929)

L'arrêté dont le texte est reproduit dans le présent article présente un grand intérêt au point de vue de ses conséquences pratiques, du fait qu'il établit que les transformateurs d'énergie électrique, au même titre que tout autre outillage industriel, ne sauraient être imposés à la contribution foncière. A cet égard, l'auteur a pensé qu'il était utile de donner ici un commentaire succint de la jurisprudence sur la matière.

I. **Exposé des faits.** — L'arrêté publié ci-dessous a été rendu le 7 décembre 1929 dans les circonstances suivantes :

La Société d'Energie électrique de la Sorgue et du Tarn ayant été imposée au titre de la contribution foncière et de l'impôt de mainmorte pour deux de ses transformateurs placés dans ses constructions (mais non aériens), fit une demande en décharge de ces impôts. A l'appui de sa demande la société soutenait : 1° que ces transformateurs n'étaient *pas attachés au fonds à perpétuelle demeure* puisqu'ils pouvaient être détachés ou enlevés sans aucune détérioration de l'immeuble; 2° que ces transformateurs n'étaient pas établis *sur fondations spéciales* puisque le béton sur lequel ils reposaient n'était qu'un simple dallage, effectué pour niveler le sol; 3° qu'en droit, l'une de ces deux conditions aurait été indispensable, en vertu de la loi du 29 mars 1914, pour justifier la taxation.

L'Administration répondait à la société par une fin de non recevoir basée sur l'instruction de la Direction générale des Contributions directes du 6 avril 1925, qui indique in fine, qu'un transformateur du poids de plusieurs tonnes placé sur fondation, nonobstant la circonstance que cet appareil serait muni de roues permettant de le déplacer, doit être considéré comme immeuble et frappé à ce titre de l'impôt foncier.

Sur ce litige, une expertise fut ordonnée. Deux experts, celui du Conseil de Préfecture et celui désigné par la société, reconnurent le bien fondé des prétentions de celle-ci étant donné les constatations faites par eux-mêmes, à savoir que les transformateurs n'étaient pas incorporés au sol et ne reposaient point sur des fondations spéciales. Ces experts remarquaient, en effet, que la pression exercée sur le sol par le poids des transformateurs était insignifiante et que le dallage, installé pour tout autre cause, notamment pour relever le niveau du sol, ne pouvait être assimilé à une fondation.

L'expert de l'Administration se contenta d'affirmer que les conditions d'établissement et le poids de ce dernier rendaient applicable la circulaire du 4 avril 1925 et justifiaient l'imposition.

II. **Discussion.** — Le texte de la loi du 29 mars 1914 est formel. Il indique que seuls peuvent être imposés à la contribution foncière à titre d'immeuble : 1° L'outillage attaché à perpétuelle demeure, dans les conditions de l'article 525 du Code civil, c'est-à-dire scellé à plâtre, chaux ou ciment, ne pouvant être détaché sans être fracturé ou détérioré, ou sans briser ou détériorer la partie du fonds à laquelle ils sont attachés; 2° l'outillage reposant sur des fondations spéciales faisant corps avec l'immeuble.

En présence des constatations opérées par les experts, il fallait écarter : la première base de taxation, puisque les transformateurs litigieux n'étaient pas attachés au bâtiment à perpétuelle demeure et pouvaient être déplacés sans détérioration; — la seconde base de taxation puisqu'il n'y avait pas de fondations spéciales, mais un simple dallage. Aussi l'Administration insistait-elle surtout sur le poids des appareils en se basant sur la thèse émise par la circulaire du 4 avril 1925.

Il était aisé de réfuter cette opinion. En effet, la circulaire du 4 avril 1925 se contredit elle-même. Après avoir rappelé les principes de la loi de 1914 aussi bien en ce qui concerne l'incorporation au sol (détérioration nécessaire) ou les fondations spéciales (établies pour éviter l'ébranlement que pourrait subir l'immeuble et non seulement pour exhausser le niveau du sol), elle n'hésite pas à frapper, par une étrange contradiction, les transformateurs importants à raison uniquement de leur poids de plusieurs tonnes.

Il est non moins étrange de constater que cette circulaire s'est trouvée également contredite dans un ouvrage publié par la Direction générale des Contributions directes (Imprimerie nationale, 1926). L'Administration elle-même écrit, dans cet ouvrage : « la jurisprudence ancienne aux termes de laquelle étaient impo-

sables les machines adhérentes au sol par leur poids considérable est donc abrogée ». (Par la loi du 29 mars 1914, art. 22).

Cette dernière affirmation n'est d'ailleurs que l'application du texte de la loi et des travaux préparatoires qui l'ont précédée. Le texte, dont la teneur est restrictive, indique seulement deux cas d'imposition : l'incorporation à l'immeuble ou la fondation spéciale. Il n'est nulle part question du poids propre à l'outillage considéré.

Et les travaux préparatoires indiquent que la loi a eu pour but de mettre sur ce point un terme à des controverses de jurisprudence,

C'est donc, avec raison, que le Conseil de Préfecture, statuant sur la demande en décharge de la contribution foncière de deux transformateurs l'a formellement accueillie. — Cet arrêté consacre d'ailleurs une jurisprudence qui s'affirme de jour en jour.

III. **Rappel des décisions antérieures.** — En effet, plusieurs décisions ont été rendues dans le même sens, ainsi que permet de s'en convaincre un bref examen de la jurisprudence. C'est ainsi que :

1° Un arrêté du Conseil de Préfecture du Nord, du 1er juin 1923 exonère un transformateur de l'impôt foncier, celui-ci n'étant pas installé à perpétuelle demeure et son déplacement pouvant être effectué sans détérioration.

Le Conseil d'Etat par son arrêt du 1er août 1924, confirme cette décision, « le transformateur ne pouvant être regardé comme constituant une partie intégrante de l'outillage fixe ». La taxation dont l'examen était soumis aux juges était cependant antérieure à la loi de 1914 (P. Bougault, *Manuel de la contribution foncière*. Circulaire n° 675 de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, février 1930).

2° Un arrêté du Conseil de Préfecture de Grenoble du 20 juillet 1928 rendu en application de la loi de 1914 exonère le transformateur : « quoique reposant sur des rails placés dans le béton du sol de l'usine », « ceux-ci pouvant être facilement enlevés du sol où ils reposent et déplacés ». (*Bulletin de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques*, décembre 1928).

3° Le Conseil de Préfecture de Lyon, par arrêté du 11 décembre 1928 prononce l'exonération « le transformateur n'étant pas attaché au fonds à perpétuelle demeure et ne reposant pas sur des fondations spéciales incorporées à l'immeuble; que, dès lors, leur poids importe peu, non plus que la circonstance qu'ils sont munis de roues et circulent sur des rails ; que dès lors, ils ne remplissent point les conditions exigées par la loi du 29 mars 1914 ». (*Bulletin du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique*).

4° Dans des espèces très voisines, un arrêt du Conseil d'Etat du 3 mai 1929 exempte de la taxation en vertu de la loi de 1914 des métiers de tisserands qui ne sont ni scellés au fonds à perpétuelle demeure, ni placés sur des fondations spéciales. Cette décision rejette le pourvoi du Ministère des Finances qui soutenait que « l'imposition est dûe indépendamment de l'existence des fondations spéciales lorsque la nature et l'importance des appareils nécessitent des assises particulières », comme elle le soutenait à nouveau devant le Conseil de Préfecture de Montpellier. (*Bulletin de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques*, oct. 1929). De nombreux arrêts du Conseil d'Etat (27 mars 1927, 10 février 1928, 15 mars 1929) écartent la taxation pour les distributeurs d'essence, bien que ceux-ci soient composés d'un corps de pompe scellé au sol et relié par une canalisation à un réservoir souterrain, cette installation pouvant être enlevée à la volonté de la société propriétaire. (*Semaine juridique*, octobre-novembre 1929. *Revue des Usagers de la route*, novembre 1929, page 3194).

5° Rappelons, simplement pour mémoire, la jurisprudence du Conseil d'Etat, qui exonère de toute imposition foncière les transformateurs aériens placés sur des poteaux métalliques ou de bois (Conseil d'Etat, 2 mars 1928, *L'Electricien*, 15 septembre 1928 et *Revue des Concessions*, 1928, p. 217).

IV. **Conclusions.** — La jurisprudence est aujourd'hui nettement établie. Par application de la loi du 29 mars 1914, article 22, les transformateurs d'énergie électrique au même titre que tout autre outillage industriel, ne sauraient être imposés, dès lors : 1° qu'ils peuvent être détachés du fonds sur lequel ils sont placés, sans être ni détériorés ni fracturés et sans briser ni détériorer ce fonds ; 2° qu'ils ne reposent pas sur fondations spéciales, mais simplement sur un dallage établi pour le nivellement du sol ou pour faciliter le graissage ou le nettoyage, en évitant de polluer et de détremper le terrain qui reçoit l'appareil.

V. **Texte de l'arrêté du Conseil de Préfecture interdépartemental de Montpellier.** — Vu la réclamation en date du 20 juillet 1927 par laquelle la Société d'Energie électrique de la Sorgue et du Tarn sollicite la réduction des contributions et taxes pour laquelle elle est imposée dans la commune de Lunas à l'article 9 du rôle de l'année 1927 ; Vu les avis émis en cours d'instruction ; Vu le rapport d'expertise en date du 29 juin 1929 ; Vu ensemble les pièces du dossier ; Vu les lois du 3 frimaire, an VII, 22 juillet 1889, 13 juillet 1900, 29 mars 1914, les décrets des 6 et 26 septembre 1926 ;

Ouï à l'audience du 27 novembre 1929, M. Ribeil, président rapporteur. Ouï en leurs observations Me Remaury, avocat, au nom de la Société ; M. Grabas, inspecteur au nom de l'Administration ; Ouï en ses conclusions M. le commissaire du Gouvernement.

Après en avoir délibéré conformément à la loi.

Considérant que l'article 22 de la loi du 29 mars 1914 dispose que sera considéré comme imposable à la contribution foncière des propriétés bâties l'outillage des établissements industriels attaché au fonds à perpétuelle demeure dans les conditions indiqués au paragraphe Ier de l'article 525 du Code civil ou reposant sur

des fondations spéciales faisant corps avec l'immeuble.

Considérant que les travaux préparatoires de ladite loi font ressortir que la volonté du législateur a été de n'imposer que le matériel fixe pouvant être considéré comme faisant partie intégrante de l'immeuble, soit parce qu'il est attaché à perpétuelle demeure au sens du Code civil, soit parce qu'il repose sur des fondations spéciales faisant corps avec le bâtiment.

Considérant que la définition donnée par le texte précité de l'outillage fixe est certainement limitative et qu'une interprétation trop large tendrait à rien de moins qu'à faire revivre une troisième sorte de matériel imposable admise antérieurement à 1914, celle du matériel en état de dépendance avec l'immeuble à raison de sa destination et du caractère spécial qu'il confère à la construction;

Considérant qu'il faut, au contraire, interpréter strictement la loi en cette matière où le législateur a voulu certainement favoriser l'industrie et mettre un terme aux controverses de la jurisprudence antérieure;

Considérant, en outre, qu'on ne saurait tenir compte, pour étendre la portée de la loi, des conséquences possibles que son application stricte pourrait avoir sur le rendement général de l'impôt et suivre l'Administration dans les considérations qu'elle développe à ce sujet;

Considérant, dès lors, qu'il faut s'en tenir uniquement dans le cas d'espèce à la notion de l'incorporation de l'outillage à l'immeuble par des fondations spéciales;

Considérant qu'il s'agit là d'une question de fait qui a été soumise aux experts;

Considérant que ceux-ci sont unanimes à reconnaître dans l'exposé commun du rapport que « la charge du transformateur est statique et qu'aucune vibration n'est imprimée au sol; qu'il n'est donc pas nécessaire de le faire reposer sur une fondation spéciale »; enfin, que « si le sol naturel à cet endroit s'était trouvé de niveau, on aurait pu y placer sans inconvénient lesdits appareils »;

Considérant que ces constatations ont amené logiquement l'expert du Conseil et celui de la Société à conclure que les deux transformateurs du poste dont s'agit ne reposent pas sur des fondations spéciales faisant corps avec l'immeuble et que leur déplacement peut être obtenu facilement sans aucune détérioration du fonds.

En conséquence, il y a lieu de décider que ces appareils ont été imposés à tort à la contribution foncière et qu'il échet au Conseil d'ordonner décharge de cette imposition pour l'année 1927:

Arrête : Il est accordé à la Société réclamante décharge de la contribution foncière pour l'année 1927, en ce qui concerne les deux transformateurs. Les frais de timbre s'élevant à 10,80 fr seront remboursés.

Louis Remaury,
Avocat à la Cour d'Appel
de Toulouse.

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret modifiant le décret du 9 juin 1928 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 25 avril 1924 sur l'emploi obligatoire des mutilés de guerre.

Voici le texte de ce décret, en date du 4 février 1930 et publié au « Journal officiel » du 7 février, page 1360.

Article premier. — Les articles 3, 4, paragraphe 3, article 6, paragraphes 3, et 13, paragraphe 2, du décret du 9 juin 1928 (1), sont modifiés comme il suit :

Art. 3. — Les chefs d'exploitation qui emploient plus de 50 pour 100 de main-d'œuvre féminine, doivent, pour bénéficier de l'exonération du paiement de la redevance prévue au paragraphe 3 de l'article 2 de la loi, porter, sur la quatrième partie de la liste mentionnée à l'article premier ci-dessus, les veuves de guerre et autres bénéficiaires de la loi, appartenant au sexe féminin, visées par ledit paragraphe; ils y joindront le relevé des offres d'emploi concernant les catégories visées ci-dessus, par eux faites aux offices de placement pendant ladite année ainsi que toutes justifications utiles; ces justifications contiennent notamment les avis de réception prévus à l'article 6 de la loi.

Art. 4, § 3. — Cette liste doit faire ressortir d'une façon apparente que le demandeur a droit au bénéfice de l'article premier ou de l'article 2, paragraphe 3.

Art. 6, § 2. — La commission se prononce au cours de sa première réunion; si elle n'admet pas la légitimité des motifs invoqués par l'employeur, celui-ci ne peut bénéficier de l'exonération prévue au 2° du paragraphe 4, et au paragraphe 5 de l'article 10 de la loi à compter du jour où il a avisé de son refus le directeur de l'office départemental de placement.

Art. 13, § 2. — En ce qui concerne le personnel masculin, la liquidation est faite conformément à l'article 11.

Si le total calculé comme il est prévu au paragraphe premier dudit article excède le nombre des journées de travail qu'auraient dû faire dans l'établissement et pendant l'année écoulée les bénéficiaires de la loi, cet excédent entre en compte comme il est dit ci-dessous pour la liquidation des redevances à payer pour le personnel féminin.

En ce qui concerne le personnel féminin, après avoir établi le nombre de journées de travail qu'auraient dû faire dans l'établissement et pendant l'année écoulée les salariées visées à l'article 2, paragraphe 3, on soustrait de ce nombre :

1° S'il y a lieu, l'excédent prévu par le paragraphe précédent;

2° Le total des journées de travail que les salariées visées à l'article 2, paragraphe 3, ont effectivement faites dans l'établissement et les journées de congés, de maladie ou d'absence volontaire;

3° Le nombre de journées calculées entre le jour où le chef d'entreprise a passé une offre d'emploi à l'office de placement et celui où lui a été envoyé par l'office une salariée visée à l'article 2, paragraphe 3, acceptée par lui ou dont le refus a été reconnu justifié.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 octobre 1928, t. XXIV, p. 534-536.

La différence ainsi obtenue donne le nombre de journées de travail pour lesquelles est due par l'employeur la redevance journalière dont il appartient à la commission départementale de contrôle de fixer le taux et le montant.

Décret portant règlement d'administration publique pour l'application des articles 1er à 9 et 13 à 17 du décret du 28 décembre 1926 sur les règies municipales et la participation des communes à des entreprises privées.

Ce décret, en date du 17 février 1930, est publié au « Journal officiel » du 25 février, pages 2043 à 2047. Bien qu'il intéresse les sociétés de distribution d'énergie électrique, nous ne ferons que le signaler ici, sa longueur ne permettant pas de le reproduire in extenso.

Indiquons toutefois que dans ses 65 articles ce décret envisage successivement les questions suivantes : création des régies, organisation administrative des régies, régime financier, fin de la régie, participation des communes à des entreprises privées.

Arrêt du Conseil d'Etat du 6 décembre 1929 stipulant que les kiosques à journaux ne sont pas imposables à la contribution foncière.

Bien que cet arrêt concerne des constructions ayant un but bien différent de ceux qu'envisage l'industrie électrique, il intéresse néanmoins les électriciens en raison de l'analogie existant entre les kiosques et les constructions abritant des transformateurs. C'est ce que fait ressortir la note suivante que nous adresse un de nos lecteurs.

Le 6 décembre 1929 le Conseil d'Etat a rendu une intéressante décision à l'occasion d'un différend qui opposait la Ville de Lyon à l'Administration des Contributions directes.

La Ville de Lyon est propriétaire de nombreux kiosques à journaux sur des voies publiques et de quelques kiosques à fleurs sur le côté sud-est de la place Bellecour.

Ces constructions reposant sur des assises de béton, sont louées à des particuliers. Mais le cahier des charges stipule expressément que la Ville pourra, sur sa seule volonté et saus être tenue à une indemnité quelconque, déplacer ces kiosques, ou bien les supprimer, soit temporairement, soit définitivement.

La Ville de Lyon ayant été assujettie pour eux à la contribution foncière sur les propriétés bâties, présenta une réclamation. Le Conseil de Préfecture interdépartemental de Lyon, rejeta sa demande en décharge. La Ville déféra l'arrêté au Conseil d'Etat qui l'annula par le considérant suivant :

Considérant que si les kiosques à journaux et les kiosques à fleurs édifiés par la Ville de Lyon sur des voies publiques, sont construits en béton armé et s'ils reposent sur un socle de ciment de 30 à 40 cm d'épaisseur, il résulte des articles 8 et 9 des cahiers des charges de location des kiosques dont il s'agit que la Ville de Lyon propriétaire s'est réservé le droit, si elle le juge à propos, et pour une cause quelconque, de supprimer momentanément ou définitivement les installations précitées ou encore de les déplacer; que les locataires sont tenus de se soumettre immédiatement aux injonctions que l'Administration de la ville leur adresserait à cet effet, sans pouvoir prétendre à aucune indemnité; que, dans ces conditions, lesdites installations ne sauraient, eu égard à leur caractère essentiellement précaire, être regardées comme étant au nombre des constructions prévues par les lois précitées (1); que, dès lors, c'est à tort que le Conseil de Préfecture a rejeté la réclamation de la Ville de Lyon.

Cette décision présente un grand intérêt pour les producteurs ou distributeurs d'énergie électrique, propriétaires de postes de transformation, à cause de l'analogie qui existe entre les kiosques et les constructions abritant des transformateurs.

Celles-ci comme les kiosques, sont affectées, lorsqu'elles se trouvent sur les places publiques notamment, d'une condition de précarité, par un article du cahier des charges ainsi rédigé :

« ...Le concessionnaire ne pourra réclamer aucune indemnité pour le déplacement ou la modification des ouvrages établis par lui sur les voies publiques, lorsque ces changements seront requis par l'autorité concédante pour un motif de sécurité publique ou dans l'intérêt de la voirie... »

Ces ouvrages ne semblent pas devoir être imposés à la contribution foncière des propriétés bâties, parce qu'ils ne sont pas établis à perpétuelle demeure. Leur caractère de précarité ne résulte pas d'une décision du propriétaire prise par lui dans son propre intérêt, mais d'une condition inscrite au cahier des charges, par l'autorité concédante.

Emile Vercier,
Docteur en droit.

Sur les instructions ministérielles concernant l'application des règles de la brochure 137 de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Le « Journal officiel » du 14 février 1929 publie, page 718 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

7433. — M. Henri Triballet, expose à M. le ministre des Travaux publics que, par circulaires ministérielles des Travaux publics, en date des 22 août 1924 et 6 novembre 1928, MM. les ingénieurs en chef du contrôle des Distributions d'Energie électrique ont été invités à s'inspirer, au cours des enquêtes du contrôle, des règles contenues dans la brochure n° 137, de l'Union des Syndicats de l'Electricité, dont l'application a été rendue obligatoire par un arrêté de M. le préfet de la Seine en date du 22 avril 1929; et demande : 1° si cette invitation avait un caractère consultatif ou impératif; 2° si cette invitation de faire observer ces réglements a un caractère plus impératif lorsqu'il s'agit d'une distribution rurale 230/400 v, c'est-à-dire d'une distribution de première catégorie B, où les dangers d'accidents sont certainement aggravés. (Question du 31 janvier 1930.)

Réponse. — 1° Les instructions ministérielles précitées ont prescrit aux ingénieurs en chef du contrôle des Distributions d'Energie électrique de se référer à la brochure 137 toutes les fois qu'ils ont à intervenir en vertu de l'article 19 des cahiers des charges des concessions de distribution d'énergie. Ces fonctionnaires doivent donc considérer les règles contenues dans ladite brochure comme les mesures normales et suffisantes à imposer dans l'exécution des installations intérieures et ce n'est que si des circonstances spéciales justifiaient l'application de mesures différentes qu'ils pourraient exceptionnellement s'en écarter, après consultation, au besoin, de l'administration supérieure; 2° il n'est fait, dans les instructions visées, aucune distinction entre les catégories auxquelles appartiennent, d'après leur tension, les distributions d'énergie électrique.

(1) Loi du 3 frimaire an VII, du 8 août 1886, du 8 août 1893 et du 29 mars 1914.